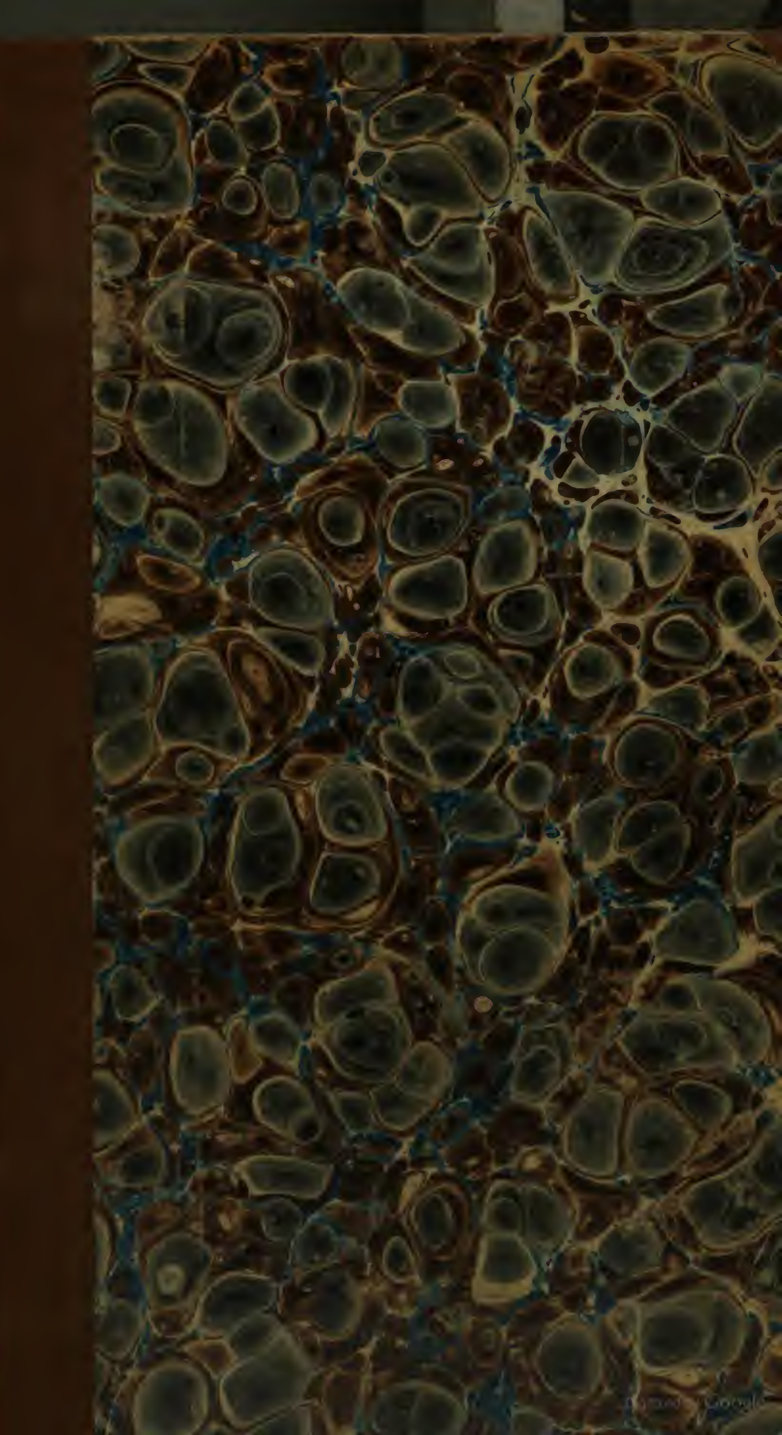
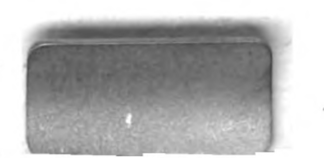




Physikalisches Wörterbuch

VI. Band.

Erste Abtheilung.

L.

Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches

Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

Sechster Band.

Erste Abtheilung.

L.

Mit Kupfertafeln I bis XI.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1831.

Der Umschlag zu den Kupfertafeln wird bei der 2ten Abtheilung geliefert.

L.

Länge, geographische.

Longitudo locorum geographica; la longitude des lieux; *the longitude.* Die Länge eines Ortes ist derjenige Bogen des Aequators, welcher zwischen einem auf demselben festgesetzten Anfangspuncte und derjenigen Stelle liegt, wo der durch den Ort gelegte Meridian den Aequator durchschneidet. Sie wird mithin in Graden, Minuten und Secunden ausgedrückt und von demjenigen Meridiane, welcher durch den Anfangspunct geht, nach Osten und nach Westen bald bis auf 180°, häufig auch fortgehend bis auf 360° gezählt. Der Unterschied in der Länge zweier Oerter ist ihre *Meridiandifferenz.*

Da die Natur nirgends eine unterscheidende Stelle für den Nullpunct der Länge angegeben hat, wie dieses durch die Axendrehung der Erde für die Breite geschehen ist, so ist die Lage dieses *ersten Meridians* willkürlich und diese Ungewifsheit hat sehr abweichende, für den Gebrauch unbequeme, für die Schifffahrt zuweilen nachtheilige Annahmen zur Folge gehabt, die bis jetzt zwar vermindert, aber keineswegs völlig ausgeglichen sind. Die Alten, unter diesen Ptolemaeus, setzten ihn etwa einen Grad westwärts von den *glückseligen Inseln.* Ob, wie man gemeiniglich annimmt, damit die *Canarischen Inseln* gemeint seyen, ist, obwohl Ptolemaeus eine Insel *Canaria* anführt, doch deswegen zu bezweifeln, weil er sie sämmtlich und zwar unter einerlei Meridiane zwischen 10 und 16 Grad nördlicher Breite setzt, während die Canarischen Inseln aufserhalb der heifsen Zone in 27° N. B. liegen. Viel eher möchten die *Cap-Verd-Inseln* dieser Breite entsprechen. Die arabischen Geographen blieben bei den Säulen des Hercules stehen und die

Seefahrer und Chartenzeichner des sechzehnten und siebzehnten Jahrhunderts zogen ihren ersten Meridian abwechselnd durch die Azoren, die Canarischen und die Cap-Verd-Inseln, wobei bald diese, bald jene Insel den Vorzug erhielt. Die Umschiffung der Südspitze von Africa im Jahre 1486 durch Bartholomaeus Diaz und die Entdeckung von Westindien im Jahre 1492 durch Columbus hatte eine neue Theilung der Erde zur Folge. Die Portugiesen hatten sich vom Papste Martin V. das Eigenthumsrecht auf alle Länder geben lassen, welche sie ostwärts vom Cap Nun entdecken würden; hinwiederum hatte 6 Jahre später Papst Alexander VI. den Spaniern den Besitz aller westlichen Inseln verliehen. Da indeſs die Portugiesen die Rechte ihrer Nachbarn anzutasten drohten, so setzte er, als Schiedsrichter, eine *Linea de Marquaçion* fest, welche den Erdball in zwei Hälften theilen sollte; dieses war der Meridian, der 36° westlich von Lissabon liegt; die auf der östlichen Halbkugel neu entdeckten Länder sollten den Portugiesen, die auf der westlichen den Spaniern gehören. Allein dieser Spruch konnte keinem der streitenden Theile gefallen. Er schnitt ganz Brasilien von America ab, was die Spanier ungern sahen, und im Osten gingen die Molukken für die Portugiesen verloren. Nachdem man sich eine Zeitlang mit allerlei diplomatischen Kunstgriffen, selbst mit Verfälschung der geographischen Längen, gegenseitig geplagt hatte, vereinigte man sich zu einer neuen Scheidungslinie, die man zum Gegensatze mit der vorigen die *Linea de Demarquaçion* nannte und die 270 Leagues westlich von der Insel St. Antonio, der westlichsten des grünen Vorgebirges, also etwa 45° westlich von Greenwich, zu liegen kam.

Daſs die übrigen seefahrenden Nationen an diese Anordnungen, die sie nur mit eifersüchtigem Blicke betrachten konnten, sich nicht kehrten, sondern jede ihren eignen Meridian wählte, war leicht zu erwarten. Die Engländer datirten ihre Längen von London und später von Greenwich, die Franzosen von Paris und die Holländer hatten, nach dem Rathe ihres Mathematikers Simon Stevin, den Pic von Teneriffa, von ihnen *Pic de Teyde* genannt, zum Nullpuncte ihrer Längen gewählt[1]. Dieser

1 Sogar hatte, wie Fleurieu entdeckt hat, der niederländische Seefahrer Roggewein seine Länge von seiner Geburtsstadt Middelburg datirt.

Verwirrung ein Ende zu machen, wurde im Jahre 1630 in Frankreich unter Ludwig XIII. durch den Cardinal Richelieu, damaligen ersten Minister, ein Congreſs der berühmtesten Mathematiker und Astronomen veranstaltet, welche den 25. April im Arsenale zu Paris zur Bestimmung eines unparteiischen gemeinsamen Meridians sich versammelten. Eine im Juli desselben Jahres vom Könige und Parlamente bestätigte Verordnung setzte endlich fest, daſs der erste Meridian durch die westlichste der canarischen Inseln, die Insel *Ferro*, gelegt werden sollte; wobei zugleich allen französischen Seefahrern die Erlaubniſs gegeben wurde, westlich von diesem Meridiane und auſserhalb des südlichen Wendekreises spanische und portugiesische Schiffe so lange aufzubringen, bis diese beiden Nationen den Handel in ihren indischen Gewässern freigeben würden.

Es war nun noch darum zu thun, die Meridiandifferenz dieser Insel von Paris zu bestimmen. Mancherlei Hindernisse, Kriege u. s. w. setzten die Ausführung dieses Zweckes bis zum Jahre 1724 zurück, da der Minorite Louis Feuillée den Auftrag und eine von den Astronomen Cassini und Maraldi abgefaſste Instruction erhielt, die Länge von *Ferro* direct zu bestimmen. Ungünstige Witterung und die Unzulänglichkeit der damaligen Methoden, die sich hauptsächlich auf Verfinsterung der Jupiterstrabanten beschränkten, lieſsen ihn den Zweck seiner Sendung nur unvollkommen erreichen und die spätern Arbeiten von Verdun, de Borda und Pingré brachten ebenfalls kein angemessenes Resultat. Man begnügte sich nun, die Insel Ferro in runder Zahl auf 20° westlich von Paris anzunehmen, und so ist der vermeinte, von den deutschen Geographen so hoch gehaltene Meridian von Ferro weiter nichts, als der verkappte Pariser Meridian. Daſs er wirklich nicht der Meridian der Insel Ferro ist, sondern zwischen *Ferro* und *Gomera* in die offene See fällt, beweisen eben die Beobachtungen von de Borda und Pingré [1]. Diesen zufolge liegt die Ostspitze jener Insel in 20° 17′ und ihr Westende in 20° 30′. Wollte man einen Meridian wählen, der weder die Pariser Sternwarte, noch diejenige von Greenwich durchschnitte, so wäre es weit besser gewesen, dem Rathe Stevin's zu folgen und ihn durch den *Pic von Te-*

1 v. Zach. Mon. Corr. z. Beförderung d. Erd- u. Himmelskunde. Bd. XV und XVI.

neriffa zu legen. Nicht nur kommt diese ausgezeichnete Bergspitze den meisten Seefahrern, die von Europa aus die tropischen Winde suchen, zu Gesicht und würde einen schicklichen Abfahrpunct für ihre Längenberechnung geben, sondern sein Meridianunterschied von beiden genannten Sternwarten würde sich von einer runden Zahl wenig oder gar nicht entfernen. Pingré bestimmte ihn in runder Zahl auf 19° und A. v. Humboldt[1] auf 18° 59' 54" von Paris. Die Einwendung, dafs im Laufe von Jahrhunderten die Spitze des Pics durch Einstürze und Aufthürmungen sich verändern könne und so kein sicheres Denkmal des gesuchten Anfangspunctes darbiete, trifft nicht weniger die kleinen Häuser, Thürme und Schlösser unserer modernen Architectur und schwerlich dürften die Sternwarten von Greenwich und Paris nach Jahrtausenden noch so kenntliche Spuren ihres Daseyns darbieten, als die noch festern Gebäude der Natur. Immerhin könnten also die Geographen und Seefahrer aller Nationen unbedenklich den hoch hervorragenden, auf zwei Grade weit sichtbaren, dem Aequator sehr genäherten Gipfel eines auf so breite Unterlagen gestützten Gebirges zum Anfangspuncte ihrer Längen erwählen und dadurch die unangenehmen, misslichen Reductionen entbehrlich machen. Die Sicherheit der Längenangaben möchte wohl am besten dadurch erreicht werden, dafs die Meridiandifferenzen vieler durch ihre Kenntlichkeit und Dauerhaftigkeit ausgezeichneten Stellen, z. B.

---

1 A. v. Humboldt's Reise in die Aequinoctialgegenden des neuen Continents. 1815. Th. I. S. 450. Humboldt setzt den Pic nach Borda's Messungen 23' 54" westlich vom Molo bei St. Cruz. Die Länge dieses letztern ist:

Nach Fleurieu	18°	36'	00"
- Borda	—	35	50
- La Perouse	—	36	30
- Quenot	—	33	36
- Krusenstern	—	32	45
- Roussin	—	33	30
- Joseph Varela	—	38	22
- P. Feuillée	—	32	53
- Simonoff	—	39	45
- Duperrey aus 186 Monddist.	—	32	10
Mittel =	18°	35'	8"
Pic westlich von St. Cruz . . .	—	23	54
Länge des Pics	18°	59'	2".

Bergspitzen, Felswände, Vorgebirge, Klippen, genau bestimmt würden, allenfalls durch trigonometrische Verbindung mit den Sternwarten, aus denen vereint dann nach Jahrtausenden die Lage des ersten Meridians wieder herzuleiten wäre[1].

Gröſser noch als bei den Seefahrern ist die Verschiedenheit der ersten Meridiane bei den Astronomen, aber bei diesen, denen das Rechnen Beruf ist, auch weniger störend und als bloſser Gegenstand der Rechnung weniger bedenklich. Jeder zählt die Längen entweder von seiner Sternwarte, oder von derjenigen, auf deren Meridian die astronomischen Hülfstafeln, die er gebraucht, berechnet sind. So machten es die Herausgeber von Ephemeriden und Planetentafeln von Ptolemaeus an bis auf die neuesten Zeiten. Das Verdienst, welches sich gegen Ende des verflossenen Jahrhunderts die französischen Astronomen um die Herausgabe neuer, sehr verbesserter Sonnen-, Mond- und Planetentafeln erwarben, hatte zur Folge, daſs die Astronomen des Continents alle Beobachtungen und berechneten Längen auf den Pariser Meridian bezogen, so daſs gegenwärtig, wenigstens für die geographischen Längenangaben, meistens nur die Meridiane der Sternwarten von Paris und Greenwich aufgeführt werden.

Die Messung des Abstandes zweier Meridiane unterliegt ungleich gröſseren Schwierigkeiten, als diejenige der Distanz zweier Parallelkreise. Sie wird entweder durch directe Messung auf der Erde mittelst Dreiecke erhalten, wobei man die Gröſse und Gestalt der Erde als bekannt voraussetzt, oder man bestimmt sie durch die Zeit, welche ein Stern gebraucht, um in Folge seiner täglichen scheinbaren Bewegung vom Meridiane eines Ortes zu demjenigen eines westlichern zu wandern. Ist dieses Gestirn die Sonne, nach welcher wir unsere Zeit zu bestimmen oder unsere Uhren zu richten pflegen, so darf man nur die Zeiten vergleichen, welche die Uhr des einen und des andern Beobachters im nämlichen Momente zeigen. Denn da jeder seine Uhr auf 12 oder 0 Uhr richtet, wenn die Sonne durch seinen Mittagskreis geht, so werden diese Uhren, insofern sie einen richtigen Gang haben, immer um die nämliche Zahl von Stun-

---

1 Da der Pic zuweilen in Wolken gehüllt ist, so könnte man die Länge auch aus der höchsten Spitze der Küste der *Punta de Naga* ableiten, welche in 28° 37′ nördl. Breite 18° 28′ 30″ westl. von Paris liegt.

den, Minuten und Secunden differiren. Es bedarf also nur eines Mittels, um so weit von einander entlegene Instrumente zu vergleichen. Hierzu giebt es zweierlei Wege. Entweder man transportirt die eine Uhr zu der andern, ohne dafs sie ihren Gang im Mindesten ändert, oder beide Beobachter notiren genau, jeder nach seiner Uhr, die Zeit, zu welcher irgend ein auf den Moment angebliches, an beiden Stationen wahrnehmbares Phänomen statt fand. Der Unterschied der beobachteten Zeitmomente drückt die Differenz ihrer Meridiane in Zeit aus. Beide Methoden sind vielfach benutzt worden und besonders hat die letztere in Hervorbringung und Aufstellung eines gleichzeitigen Phänomens die Erfindungsgabe der Astronomen auf mannigfache Weise beschäftigt. Wir werden hier diese verschiedenen Methoden durchgehen und die brauchbarsten derselben vorzugsweise beleuchten.

Längenbestimmung durch tragbare Uhren.

Vor Erfindung der Räderuhren konnte von keiner eigentlichen Längenbestimmung die Rede seyn. Die frühern Hülfsmittel der Zeitbestimmung, seyen es Klepsydren oder Sanduhren, konnten dazu nicht hinreichen. Beide waren zur See unbrauchbar, und doch war es gerade die Längenbestimmung zur See, welche nach dem Aufschwunge, den die Schifffahrt durch Columbus und seine Nachfolger genommen hatte, ein dringendes Bedürfnifs geworden war. Grofse Summen wurden dem Erfinder eines sichern Mittels zur Erreichung dieses Zweckes geboten. Im Jahre 1698 setzte Philipp II., König von Spanien, einen Preis von 1000 Kronen dafür aus; ein Jahrhundert später versprachen die Staaten von Holland 30000 Gulden; endlich setzte im Jahre 1714 das englische Parlament verschiedene Preise mit besondern Bestimmungen fest, nämlich von 10000, 15000 und 20000 Pfd. Sterling für die Längenbestimmung auf 1, $\frac{2}{3}$ und $\frac{1}{2}$ Grad. Eine spätere Acte setzte jedoch diese Summen auf die Hälfte herunter und versprach 10000 Pfd. für eine Uhr, welche nach einer Reise von 6 Monaten die Länge bis auf einen halben Grad angäbe; ebenso 5000 Pfd. für verbesserte Sonnen- und Mondtafeln, welche die Monddistanzen auf 15 Secunden, mithin (die Beobachtungsfehler abgerechnet) die Länge auf 17 Mi-

nuten genau finden liefsen und diese Genauigkeit 18½ Jahre lang, d.h. durch eine Periode aller Mondsstellungen, behalten würden.

Lange vorher, ehe diese Belohnungen den Ehrgeiz der Mathematiker aufreizen konnten, hatte Gemma Reinert, mit dem Zunamen Frisius, ganz deutlich gezeigt, wie man durch Uhren die Länge bestimmen könne[1].

Er spricht von kleinen, leicht zu transportirenden Uhren und zeigt, wie man durch Vergleichung der wahren Zeit mit den Angaben der Uhr die Meridiandifferenz zweier Orte finden könne. Vermuthlich waren dieses die ovalen Nürnberger Eier des Peter Hele, die zu Anfang des sechzehnten Jahrhunderts bekannt wurden. Dafs sie nicht geeignet gewesen wären, die Ideen der niederländischen Astronomen zu verwirklichen, ist um so weniger zweifelhaft, da erst 12 bis 13 Decennien später die Unruhe mit der Spiralfeder erfunden wurde[2]. Gleichzeitig

---

1 In seiner Schrift: De usu globi p. 238. Nostro saeculo horologia quaedam parva a fabro constructa videmus prodire, quae ob quantitatem exiguam proficiscenti minime oneri sunt; haec motu continuo ad 24 horas perdurant; immo si juves, perpetuo quasi motu movebuntur. Horum igitur adjumento hac ratione longitudo invenitur. Primo curandum, ut priusquam itineri intendamus, exactissime hora ejus loci observatur, a quo proficiscimur, deinde ut inter proficiscendum numquam cesset. Completo itaque itinere 15 aut 20 milliarium, si quantum longitudine distemus a loco libeat addiscere, exspectandum, donec index horologii punctum alicujus horae exactissime pertingat, eodemque momento per astrolabium aut globum nostrum inquirenda est hora ejus loci, in quo jam sumus; quae si ad minutum convenerit cum horis, quas horoscopium indicat, certum est nos sub eodem adhuc esse meridiano, aut sub eadem longitudine, iterque nostrum versus meridiem vel aquilonem confecisse. Si vero differat uno aut aliquot minutis, tum haec reducenda sunt ad gradus, vel graduum minuta, ut in praecedenti capite docuimus, et sic longitudo elicienda. Hac arte possem longitudinem regionum invenire, etiamsi per mille milliaria inscius essem adductus, ignota etiam itineris distantia.

2 Gemeiniglich wird Huyghens als Erfinder der Spiralfeder genannt. Er hatte 1564 eine Uhr mit dieser Construction, von Turet ausgeführt, dem grofsen Colbert vorgelegt und in Paris um ein Privilegium nachgesucht; allein der Abbé de Hautefeuille, unterstützt von den übrigen Uhrmachern, widersetzte sich diesem Begehren, indem er behauptete, schon 40 Jahre vor Huyghens von dieser Einrichtung in Paris gesprochen zu haben. In England wird sie dem bekannten Hooke zugeschrieben und nach Derham sollte von Oldenburg die Sache nach Paris gebracht haben, wie er die Fluxions-

beschäftigten sich Hooke in England und Huyghens in Paris mit Verbesserung der Uhren. Einige Streitigkeiten, die der Erstere mit dem Ministerium hatte, sollen verursacht haben, daſs keines seiner Werke in Probe genommen wurde. Hingegen genoſs Huyghens, als er mit seinen Uhren nach England kam, die Befriedigung, dieselben vielfach probirt zu sehen, und eine derselben setzte den Major Holmes, der im Jahre 1665 eine Reise von der Küste von Guinea nach dem Feuerlande machte, in den Stand, die Länge dieses Platzes mit vieler Genauigkeit zu bestimmen. Durch solche Fortschritte ermuthigt setzte Huyghens seine Bemühungen noch einige Jahre fort, gestand, aber endlich selbst, daſs ohne die Erfindung neuer Einrichtungen zur Erreichung eines gleichförmigern Ganges und besonders auch zur Hebung des Einflusses von Wärme und Kälte das Gesuchte auf diesem Wege nicht zu erreichen sey[1].

Mondfinsternisse als Mittel zur Längenbestimmung.

Die Unmöglichkeit, hinreichend gute Uhren zu verfertigen, führte bald wieder auf die Methode der gleichzeitigen Phänomene zurück. Hierzu schien sich nichts besser zu eignen, als die Beobachtung der Mondfinsternisse. Da nämlich das Eintreten des Mondes in den Schattenkegel der Erde und die hierdurch entstehende successive Verdunkelung aller Theile der Mondscheibe für den halben Erdkreis zugleich sichtbar sind, so muſste durch ein solches Ereigniſs die Meridiandifferenz vieler Oerter zugleich sich bestimmen lassen. Die Menge der bemerkbaren Stellen auf dem Monde, die dunkeln Einsenkungen, Krater,

---

rechnung von Leibnitz verrieth! Ein Mann von Huyghens Geist und persönlichem Charakter war keines Plagiats fähig. Auch widersprach Oldenburg selbst dieser Andichtung (Philos. Transact. Nr. 118 u. 119). Ebenso erzählt Leibnitz in s. Bemerkungen über Sully, daſs Hautefeuille mit seinen Anschuldigungen gegen Huyghens durchgefallen sey. Leibnitz selbst schlug vor, bei den Seeuhren zwei Balanciers anzuwenden, deren Unvollkommenheiten sich gegenseitig compensiren sollten, eine Idee, die in den neuesten Zeiten mit Vortheil ausgeführt worden ist.

1 Mehreres über die allmälige Verbesserung der Seeuhren sehe man unter dem Artikel *Chronometer*. Bd. II. S. 100.

die hellen Bergspitzen u. s. w. gewährten eine willkommene Vervielfältigung der Beobachtungen. Allein der Umstand, daſs das Sonnenlicht nicht aus einem einzigen Puncte, sondern aus einer breiten Scheibe herstrahlt, läſst nicht eine plötzliche, sondern nur eine langsam zunehmende, allmälige Verdunkelung der beschatteten Stellen zu, so daſs eine momentane Bestimmung dieser Erscheinung ganz unmöglich wird. Diese Ungewiſsheit könnte jedoch durch die Menge der Beobachtungen etwas ersetzt werden; allein der Nachtheil, daſs stark vergröſsernde und lichtstarke Fernröhre die Momente des Anfangs und des Maximums der Beschattung anders angeben, als schwächere, wirft eine constante Ungleichheit auf alle Resultate einer Station, so daſs diese je nach Beschaffenheit der gebrauchten Fernröhre, selbst bei einer schönen Uebereinstimmung unter sich, doch leicht um 10, 20 und 30 Zeitsecunden im Ganzen fehlerhaft seyn können. Für den Hauptzweck der Längenbestimmung, nämlich die Länge zur See, ist diese Methode vollends ungenügend. Erstlich wegen der Seltenheit der Mondfinsternisse; zweitens wegen der Schwierigkeit, auf dem schwankenden Schiffe mit Fernröhren eine Beobachtung zu machen; drittens, weil man das Resultat der Vergleichung mit andern Stationen erst durch spätere Mittheilung, nicht auf der Stelle erhält (wobei man freilich, wenigstens für den Anfang und das Ende der Verfinsterung, sich an die Vorhersagung der Ephemeriden halten kann), und viertens, weil eine solche einzelne Längenbestimmung mitten im Oceane, entfernt von Küsten oder merkwürdigen Puncten, für den Seefahrer von geringem Nutzen ist und ihm höchstens dazu dienen kann, den oft beträchtlichen Fehler seiner Schiffsrechnung zu verbessern. Etwas passender sind für diesen Zweck die *Verfinsterungen der Jupiterstrabanten.* Diese sind allerdings häufiger und die Eintauchung in den Schatten ihres Planeten und das Hervortreten aus demselben geschieht wegen ihrer gröſsern Bahngeschwindigkeit schneller. Allein ihrer groſsen Entfernung wegen kann nicht Anfang und Ende der Verfinsterung, sondern nur das Maximum und Minimum derselben, das völlige Verschwinden und Sichtbarwerden oder, wie man es nennt, der Eintritt und Austritt der Trabanten wahrgenommen werden. Auch diese Phänomene sind also nicht momentan und wie bei den Mondfinsternissen bringt die ungleiche Lichtstärke und Vergröſserung der Fernröhre und die Schärfe des Gesichts eine be-

deutende Verschiedenheit in die Beobachtungsmomente. Nach einer Untersuchung, welche von Zach über die in den Jahren 1794, 1795 und 1796 von den Astronomen Triesnecker und Bürg beobachteten Trabantenverfinsterungen anstellte [1], gingen die Abweichungen beim ersten und zweiten Trabanten im Mittel auf eine halbe Zeitminute, beim dritten auf ¼ und beim vierten gar auf 2 bis 3 Minuten. Und diese Ungewifsheit fand statt bei zwei sehr geübten Beobachtern, mit 3½- und 7füfsigen Achromaten, in ruhiger günstiger Lage, unter völlig gleichen äufsern Umständen. von Zach zeigt ferner aus vierjährigen Beobachtungen auf der Sternwarte von Krakau, dafs 58 Trabantenverfinsterungen, mit 12 Sternwarten verglichen, dennoch die Länge um mehr als 30 Zeitsecunden zu grofs angaben. Wie viel gröfser ist der Fehler für eine einzelne Beobachtung anzunehmen, wo eine unbequeme Lage, schwankender Standort, Kleinheit der Fernröhre und andere Hindernisse dem Beobachter sich entgegenstellen, und wie viel mehr mufs seine Länge unsicher werden, wenn er seine correspondirende Beobachtung nicht aus der Wirklichkeit, sondern aus den Vorhersagungen der Ephemeriden nehmen mufs? So viel auch die Astronomen von Hodierna an bis auf Wargentin und Delambre hierin geleistet, so viel auch Römer's Entdeckung von der Fortpflanzung des Lichts und die Theorien von Lagrange und Laplace diese Aufgabe der Vollkommenheit näher gebracht haben, so bleibt doch immer eine ziemliche Ungewifsheit übrig, die sich noch am besten dadurch beseitigen läfst, wenn man, wie A. von Humboldt auf seiner Reise nach America that, die aus Trabantenverfinsterungen abgeleiteten Längen von einer und derselben Periode durch den Unterschied verbessert, welchen eine derselben mit der anderwärts ausgemittelten wahren Länge eines Ortes macht. Um die Schwierigkeiten zu heben, welche die Schwankungen des Schiffes der Beobachtung entgegensetzen, schlug im Jahre 1760 Irwine eine Art von Schwungstuhl vor, welcher jene Bewegung contrebalanciren sollte. (Eine Idee, die früher schon Besson im Jahre 1567 angeregt hatte.) Allein schon Maskelyne fand ihn auf seiner Reise nach Barbados unbrauchbar und ebenso ging es einer von Rochon 1766 ange-

1 Bode Sammlung astronomischer Beobachtungen und Nachrichten. Bd. III. S. 47.

gebenen Vorrichtung, durch welche man im Stande seyn sollte, den Jupiter schnell wieder ins Gesichtsfeld zu bringen, wenn ihn das Schwanken daraus verrückt hätte. Rechnet man hierzu den Umstand, dafs der Jupiter jährlich 2 Monate lang in den Sonnenstrahlen verborgen ist, so wird man sich überzeugen, dafs auch dieses Mittel zur Längenbestimmung für den Seefahrer unbrauchbar ist und höchstens von einem reisenden Beobachter in entfernten Ländern zu einer ungefähren Bestimmung benutzt werden kann.

Künstliche Signale.

Der gröfsten Genauigkeit fähig, aber auf gewisse Entfernungen beschränkt, eigentlich nur Meridiandifferenzen liefernd, sind gleichzeitige Phänomene *künstlicher Art,* als *das Zerplatzen von Bomben, Racketen, Pulverentzündungen, plötzliche Blendung eines hellen Lichtes* und drgl. Die letzte dieser Methoden wurde zuerst in Anwendung gebracht. Picard bestimmte vermittelst derselben im Jahre 1671 mit Hülfe von Olaus Römer den Längenunterschied zwischen Tycho de Brahe's zerstörter Sternwarte auf der Insel Huen und dem astronomischen Thurme in Copenhagen [1]. Ueber die eigentliche Vorrichtung zu dieser Blendung sagt Picard nichts; nur ergiebt sich aus seinen in Frankreich angestellten Versuchen, dafs man sich dazu grofser Holzfeuer bediente. Die geringe Lichtstärke dieser Feuer oder ihr Mangel an raumdurchdringender Kraft macht einen grofsen Durchmesser derselben nothwendig. Ein Feuer von 3 Fufs Breite erschien nach Picard in einer Entfernung von 13 Lieues dem blofsen Auge wie ein Stern dritter Gröfse und im Fernrohre seines Quadranten unter einem Winkel von 3 bis 4 Secunden. Wie grofs müfsten da die Feuer seyn, um auf einen Grad Längendifferenz sichtbar zu werden, wie schwerfällig die übrigen Apparate, wie unsicher bei der ungleichen Flamme der Erfolg? Kaum möchten solche Veranstaltungen zu Nachtsignalen für die Messung terrestrischer Winkel dienen. Weit besser eignen sich hierfür Argandsche Lampen mit Reflectoren, deren Licht man durch einen die Flamme umhüllenden undurchsichtigen Cylinder plötzlich unterbricht; nur steht der Anwendung der Reverberen

---

1 Voyage d'Uranibourg. Paris 1680.

die Schwierigkeit entgegen, sie genau in diejenige Richtung zu stellen, welche den Strahlencylinder des reflectirten Lichtes genau auf die verlangte Station hinwirft. Doch lassen sich auch bloſse Argandsche Lampen, besonders die von Carcel's Einrichtung, wo der Docht immer mit frischem Oele begossen wird, oder diejenigen mit groſsen und mit concentrischen Dochten auch ohne Reflectoren auf sehr groſse Distanzen anwenden, wie dieses die Versuche, welche vor wenigen Jahren in Frankreich mit Dochten von verschiedenem Durchmesser angestellt wurden, beweisen. Zu gleichem Endzwecke könnte bei Sonnenscheine das Gauſsische *Heliotrop*[1] gebraucht werden, da nach seiner verbesserten Einrichtung das Sonnenlicht unschwer auf jede Station hingelenkt werden kann und seine Wirksamkeit in die Ferne sowohl jene Lampen, als auch die allzuschnell verbrennenden indischen Weiſsfeuer übertrifft.

Das *Zerplatzen von Bomben* als gleichzeitiges Ereigniſs anzuwenden wurde im Jahre 1714 von Whiston und Dutton[2] vorgeschlagen. Man sollte längs den Seeküsten und auf den Inseln Mörser aufstellen und zu bestimmten Stunden abfeuern, woraus die Seefahrer, den Knall in der Ferne hörend, durch Vergleichung ihrer Zeit mit dem Momente des Schalls ihre Länge abstrahiren könnten. Wie eine so läppische und unausführbare Idee bei einer seefahrenden Nation aufgestellt werden konnte, ist kaum zu begreifen; auch wurde sie von Newton, so wie sie vorgebracht war, sogleich verworfen. Im Jahre 1735 schlug Condamine Kanonenschüsse und platzende Minen vor, nicht um ihren Knall als Signal zu benutzen, sondern um ein groſses, plötzliches, lebhaftes, allen äuſsern Störungen widerstehendes Feuer hervorzubringen. Das Umständliche dieses Mittels muſste jedoch die Ausführung dieser Idee für immer unterdrücken.

Mit Erfolg wurde dagegen das Platzen von Racketen benutzt, um kleine Meridiandifferenzen auf dem Lande auszumitteln, und die Sternwarten einiger Liebhaber in und um London wurden auf diese Weise bis auf Zehntelsecunden bestimmt; allein die Lichtschwäche dieses Phänomens bei seiner veränderlichen Lage und seine geringe Erhebung über den Boden machen es auf gröſsere Entfernungen untauglich. Besser würde dazu das

1 S. dieses Wörterbuch Bd. V. S. 246.

2 A new method for discovering the longitude etc. Lond. 1714.

Zerplatzen von *Feuerkugeln* und *hellen Sternschnuppen* taugen, von denen die gröfsern eine Höhe erreichen, die sie auf viele Grade weit sichtbar machen. Wirklich veranlafste die von den ersten fleifsigen Beobachtern dieser Erscheinungen, Brandes und Benzenberg, wahrgenommene gröfsere Frequenz derselben den Letztern zu dem Vorschlage, sich ihrer zur Längenbestimmung zu bedienen. Dafs aber bei unserer gänzlichen Unwissenheit über Zeit und Ort eines solchen Ereignisses von keiner genauen Beobachtung, viel weniger noch von correspondirenden Beobachtungen die Rede seyn könne, bedarf keiner Erläuterung.

Unter allen Mitteln, ein momentanes, auf weite Entfernungen sichtbares Ereignifs hervorzubringen, sind einzig die *Pulversignale* diejenigen, welche sich durch die Erfahrung als brauchbar erwiesen haben und die selbst in den neuesten Zeiten mit grofser Genauigkeit angewandt wurden. Sie bestehen in dem Losbrennen einer geringen Quantität Schiefspulver in freier Luft des Nachts. Die erste Idee zu solchen Signalen wird dem französischen Astronomen Joseph de Lisle zugeschrieben und Godin wollte sie zur Messung eines Längengrades in Peru benutzen. Allein es blieb bei blofsen Vorschlägen, bis im Jahre 1740 Cassini III. und La Caille den Längenunterschied des Berges *St. Victoire* bei Aix in der Provence und eine Höhe bei *Cette* im Languedoc durch solche Blickfeuer bestimmten[1]. Man hatte auf einer dazwischenliegenden Station, der Kirche von *Saintes Maries* am Ufer des mittelländischen Meeres, in vier Versuchen jedesmal 10 Pfund Schiefspulver abgebrannt, deren Flamme auf mehr als 12 geographische Meilen wahrgenommen wurde. Die Längendifferenz ergab sich zu 7′ 33½″ in Zeit, mit einer Ungewifsheit von 1½ Secunden. Der gute Erfolg dieses ersten Versuches veranlafste später Cassini zu einem umständlichen Vorschlage, durch Pulversignale, die an 38 Stationen gegeben werden sollten, die Länge zwischen Paris und Wien (eine Entfernung von 84 geographischen Meilen) zu bestimmen; ein Project, das jedoch nie zur Ausführung kam.

Seit jener Zeit war nie mehr die Rede von Pulversignalen, bis der um die Verbesserung und Ausbreitung der praktischen Astronomie so verdiente Baron von Zach bei Gelegenheit seiner

1 Meridienne verifiée. Paris 1744. p. 98 — 105.

Vermessung von Thüringen diese Methode wieder in Anregung brachte und durch vielfach abgeänderte Versuche das zweckmäfsigste Verfahren dazu ausmittelte. Es besteht in Folgendem[1]. Das Pulver wird ganz frei auf einen Stein aufgeschüttet und mit einem sogenannten Zündlichte, dergleichen sich die Artilleristen zum Abfeuern der Kanonen bedienen und die weder Regen noch Wind auslöscht, losgebrannt. Dieses Zündlicht wird kurz vor dem Versuche an einer brennenden Lunte angesteckt und nach dem Abbrennen des Pulvers das brennende Ende desselben, da es sich nicht wohl auslöschen läfst, mit einer Scheere abgeschnitten. Eine Flamme von 12 — 16 Loth Pulver wird bei Nacht auf eine Entfernung von 30 und mehr Meilen mit blofsen Augen gesehen; 4 bis 6 Loth auf 8 bis 10 Meilen. Die Qualität des Pulvers scheint hierbei von keinem besondern Einflusse zu seyn. Nach der Meinung eines geschickten Chemikers sollte eine kleine Beimischung von pulverisirtem Antimon (etwa $\frac{1}{9}$ der Pulvermasse) die Helligkeit erhöhen. Dunkle Nächte mit durchsichtiger nebelloser Luft beim Neumonde sind ohne Widerrede der Sichtbarkeit am zuträglichsten; doch lassen diese Signale sich auch bei trüber Luft, ja sogar, wie dieses bestimmte Versuche beweisen, auch bei Tage durch Fernröhre wahrnehmen. Ihre Erscheinung ist die eines Augenblickes, besonders wenn die Pulvermasse gering ist. Die bei der Vermessung in Thüringen von verschiedenen Beobachtern angegebnen Zeitmomente dieser Pulverblitze bieten für einen und denselben Tag nur selten Abweichungen von einer halben Zeitsecunde dar und unter guten Umständen gehen sie nicht um 0,3 Sec. aus einander. Eben dieses bestätigen die in Oesterreich vom Hauptmann Augustin[2] und später von Littrow angestellten Längenbestimmungen nach dieser Methode[3], besonders auch die zur Verbindung der Sternwarten von Mailand, Turin und Genf mit grofser Sorgfalt durch die dortigen Astronomen veranstalteten Pulversignale. Hierbei ist es allerdings vortheilhaft, die Signale auf einer Höhe zu geben, die *zwischen* den Stationen, deren Längendifferenz bestimmt werden soll, sich befindet. Nicht nur wird dadurch das

---

1 Monatl. Correspondenz z. Beförd. d. Erd- und Himmelskunde. X. 130.

2 Von Zach Monatl. Correspondenz. XXVII. 287.

3 De Zach Correspondance Astronom. XXVII.

Doppelte der Sehweite gewonnen, sondern der Moment der stärksten Flamme wird gleichzeitiger erscheinen; doch ergiebt sich aus den Versuchen der italienischen Astronomen auf dem *Mont Colombier*, dafs die Beobachtungen in 12 Metern und in 100 Metern Entfernung von der Explosion keine merkbare Verschiedenheit darboten[1]. Ebenso möchte diejenige Ungleichheit, die von der individuellen Besinnungskraft des Beobachters abhängt und über welche Bessel interessante Versuche angestellt hat[2], sich noch innerhalb der Grenzen der Genauigkeit finden, deren diese Längenbestimmung fähig ist. Die Signale können schicklich von fünf zu fünf Minuten gegeben werden. Von Zach und die italienischen Astronomen hatten Intervalle von 10 Minuten; Augustin bei der Längenbestimmung von *Raab* und *Wien* nur 3 Minuten. Das Anzünden kann begreiflicher Weise von irgend einem Gehülfen verrichtet werden.

Weit wichtiger aber und für den guten Erfolg der Längenbestimmung ganz entscheidend ist der rein astronomische Theil derselben, nämlich die genaue Zeitbestimmung für den Meridian eines jeden Beobachtungsortes. Hier mufs die höchste Schärfe deswegen erreicht werden, weil alle übrigen Theile dieser Methode dieselbe in vorzüglichem Grade gewähren. Wenn bei den übrigen absoluten Längenbestimmungen aus Monddistanzen und Sternbedeckungen es hinreichen mag, seine Zeit auf die Secunden zu haben, weil die übrigen Elemente der Beobachtung und Berechnung noch gröfsere Ungewifsheiten übrig lassen, so ist hingegen hier eine Zuverlässigkeit von wenigstens ¼ Secunde unerläfslich. Die gebräuchlichen Methoden zur Zeitbestimmung sind absolute Sonnen- oder Sternhöhen, correspondirende Höhen und Durchgänge der Gestirne am Passageninstrumente. Die Höhen werden mit Repetitionskreisen oder Spiegelsextanten gemessen, die letztern zu Lande mit dem künstlichen Horizonte, eine Methode, die wegen der bei den stehenden Höhenkreisen so schwierigen Bestimmung der *Collimation* und der *Horizontallinie* bedeutende Vorzüge hat und durch die directe Berührung der Bilder mit Beseitigung aller Fadendicke, Parallaxe der Oculare und durch die verdoppelte Bewegung

1 Opérations géodésiques pour la mésure d'un arc de parallèle moyen. Milan 1827. gr. 4. Tome II. p. 96.

2 Astronomische Beobachtungen auf der Königsberger Sternwarte.

des Gestirns bei der Kleinheit und Bequemlichkeit des Instrumentes eine kaum begreifliche Genauigkeit gewährt. Allein diese Methode ist in der Berechnung umständlich und ihre Sicherheit hängt von der genauen Bestimmung anderer Elemente, namentlich der Polhöhe ab, auch giebt sie selten sehr übereinstimmende Resultate. Ungleich bequemer und schärfer ist die Methode der correspondirenden Höhen und wirklich wurde diese bis zum Anfange dieses Jahrhunderts noch auf den meisten Sternwarten für das *non plus ultra* einer guten Zeitbestimmung angesehen und auch seither sowohl von Astronomen, als auch von Liebhabern und Reisenden mit grofsem Vortheile geübt. In neuern Zeiten haben sich jedoch auch bei diesem Verfahren, trotz aller Uebereinstimmung der einzelnen Beobachtungen, Anomalien in der Zeitbestimmung gezeigt, die nur durch Vergleichung mit dem Resultate der Beobachtungen am Passageninstrumente entdeckt werden konnten und deren Ursache vor der Hand noch unausgemittelt ist. Schon früher hatte von Zach auf die Mängel dieser Methode aufmerksam gemacht und später durch directe Versuche ihre möglichen Abweichungen erwiesen[1]. Er war geneigt, sie einem Fehler des Glasdaches, das den künstlichen Horizont bedeckt, zuzuschreiben, obgleich dieses, wenn es zwischen der Vor- und Nachmittagsbeobachtung nicht umgekehrt wurde, in beiden Fällen die Höhen auf die gleiche Art afficiren mufste. Aehnliche Fehler, die bis auf 5 und 6 Secunden gingen, entdeckten Carlini und Plana bei ihren Beobachtungen[2]; der Mittag aus den correspondirenden Höhen war immer früher, als er seyn sollte; am geringsten war er aus den Höhen, die etwa um 3 St. 30 M. vom Mittage genommen wurden. Auch der Verfasser dieses Aufsatzes erinnert sich solcher Abweichungen bei sehr gut gemessenen, unter sich übereinstimmenden Höhen, bei welchen der Quecksilberhorizont durch ein Dach von russischem Marienglase gedeckt war, das seiner ganz parallelen Schichten wegen jede schiefe Brechung unwahrscheinlich macht. Da diese Anomalien sich nicht regelmäfsig, sondern nur zuweilen zeigen, so müssen sie wohl gewissen zufälligen Aenderungen, entweder des Instrumentes oder des Zu-

1 Monatl. Correspondenz. IX. 206.

2 Opérations géodésiq. et mésure d'un arc de parallèle moyen. II. p. 13.

standes der Atmosphäre in der Zwischenzeit der Beobachtungen, zugeschrieben werden.

Ganz unabhängig von solcher Ungewifsheit, jeden Augenblick anwendbar und von unübertrefflicher Genauigkeit ist dagegen die Zeitbestimmung, welche ein an einer Queraxe nur im Meridiane bewegliches Fernrohr, das sogenannte *Passageninstrument*, gewährt. Aus den gedruckten Beobachtungen der Astronomen läfst sich nachweisen, dafs die Appulse der Gestirne an den 5ten oder 7ten Verticalfaden des Mikrometers mit einer Genauigkeit von $\frac{1}{4}$ Zeitsecunde beobachtet werden können, so dafs die Mittel aus diesen Appulsen auf eine Zehntelsecunde zusammenstimmen und dafs bei guter Aufstellung des Instrumentes die Zeitbestimmung aus verschiedenen Sternen bis auf ein paar Zehntel sich gleich bleibt[1]. Dieses ist nun freilich dasjenige, was die geübtesten Beobachter auf der bequemen Sternwarte mit vorzüglichen und stark vergröfsernden Instrumenten leisten; allein auch kleinere und tragbare Transitinstrumente gewähren eine mit andern Werkzeugen nicht zu erreichende Genauigkeit, die sich besonders durch die grofse Zahl der jede Minute zu Gebote stehenden Bestimmungen bis zur vollen Befriedigung treiben läfst. Die wichtigste Schwierigkeit liegt in der genauen Aufstellung solcher Instrumente. Ehemals wurden dazu Wochen erfordert und die correspondirenden Höhen galten als Prüfungsmittel. Jetzt kann man bei der Vollkommenheit der heutigen Fixsternverzeichnisse in wenigen Minuten durch die Beobachtung zweier Sterne, von denen der eine hoch am Zenith, der andere niedrig am Horizonte durchgeht, die Abweichung des Fernrohrs vom Meridiane erfahren, es berichtigen und sogleich wieder prüfen. Eben dieses läfst sich auch durch das Azimuth des Polarsterns und durch Beobachtung der Sterne unter und über dem Pole sehr bald erreichen und selbst die mit einem nicht ganz berichtigten Instrumente erhaltenen Resultate lassen sich durch leichte Methoden von ihren Fehlern befreien. Es ist also nur mit Anwendungen eines Mittagsfernrohrs zur Zeitbestimmung der Mühe werth, die Längendifferenz durch Pulversignale zu erforschen; dann aber giebt es für Stationen, zwischen denen eine mittelbare oder unmittelbare Verbindung mög-

1 Man sehe die Beobachtungsregister in den Sammlungen der Astronomen Bessel, Littrow, Struve u. A.

lich ist, kein anderes Mittel zur Erfindung der relativen Länge, das diesem an Genauigkeit gleich käme.

Längenbestimmung durch Sonnenfinsternisse, Durchgänge der zwei untern Planeten vor der Sonnenscheibe und durch Bedeckungen der Fixsterne vom Monde.

Bei diesen Erscheinungen besteht das gesuchte gleichzeitige Ereignifs, auf welches die Meridiandifferenzen sich beziehen sollen, in der sogenannten geocentrischen Conjunction zweier Himmelskörper. Dieses ist der Moment, wenn beide Himmelskörper, aus dem Centrum der Erde betrachtet, die nämliche Länge in der Ekliptik erhalten. Er kann nicht unmittelbar beobachtet, sondern er mufs aus dem sogenannten Eintritte und Austritte der Zeit des Anfangs und Endes der Berührung beider Körper für jeden Ort durch eine Rechnung hergeleitet werden, welche wegen der ungleichen Nähe derselben, ihrer Bewegung in der Breite und der geographischen Lage des Beobachtungsortes mehr oder weniger verwickelt ist. Da die Eintritte und Austritte an jedem Orte nach der wahren Zeit seines Meridians angegeben werden, so wird auch der daraus abgeleitete Moment der wahren Conjunction in eben dieser Ortszeit ausgedrückt, wodurch man dann die gesuchte Vergleichung der verschiedenen Uhrzeiten für ein gleichzeitiges Phänomen erhält. Bei den Sonnenfinsternissen und Sternbedeckungen ist es vornehmlich die Parallaxe des Mondes und seine starke nördliche oder südliche Bewegung, welche seinen Rand früher oder später mit der Sonne oder dem Fixsterne in Berührung bringt, jenachdem der Beobachtungsort südlicher oder nördlicher, östlicher oder westlicher liegt. Die nämlichen Modificationen finden, obwohl in sehr vermindertem Mafse, bei den Durchgängen des Mercurs oder der Venus vor der Sonnenscheibe statt.

Dafs auch bei diesen Methoden, die Länge zu erhalten, eine genaue Zeitbestimmung die Hauptsache bilde, unterliegt keinem Zweifel und wirklich giebt die Reihe der verschiedenen, durch solche Beobachtungen allmälig erhaltenen Längenangaben einen nicht immer rühmlichen Beweis, wie man es besonders in frühern Decennien auf einigen Sternwarten in Betreff dieses

wichtigsten Elementes der praktischen Astronomie gehalten haben mochte. Allein die Vorzüge derselben beruhen hauptsächlich auf der grofsen Genauigkeit, mit welcher sich bei den Sonnenfinsternissen wenigstens das Ende, bei den Sternbedeckungen der Eintritt des Sterns, zumal wenn er am dunkeln Mondrande geschieht, beobachten lassen. Da der Mond in jeder Zeitsecunde um eine halbe Secunde im Bogen fortrückt, der Durchmesser eines Fixsterns wohl in der Regel kaum eine halbe Secunde beträgt, so ist das Verschwinden des letztern so plötzlich, dafs es unmöglich ist, sich hierin um eine Secunde zu irren. Die Fälle, wo durch Unebenheiten des Mondrandes eine etwelche Verzögerung des Eintrittes entsteht, gehören unter die Ausnahmen und finden meistens nur dann statt, wenn der Stern entfernt vom Centrum des Mondes durchgeht [1]. Weniger genau läfst sich das Hervortreten des Sterns, zumal am erleuchteten Mondrande, wahrnehmen und hier ist allerdings bei kleinen Sternen und im Volllichte des Mondes eine Zögerung von mehreren Secunden möglich. Da jedoch die Zeit der Conjunction aus jedem Appulse besonders berechnet werden kann, so läfst sich bei zweifelhafter Beobachtung der nachtheilige Einflufs des Austrittes beseitigen. Bei Sonnenfinsternissen kann man durch Anwendung starker Vergröfserungen, namentlich bei dem Ende derselben, den Eingriff des Mondes in die Sonnenscheibe mit ziemlicher Sicherheit beurtheilen, doch stehen sie für den Zweck der Längenbestimmung den Sternbedeckungen merklich nach. Noch viel mehr ist dieses wegen der langsamen Bewegung bei Planetendurchgängen der Fall und wirklich macht die Längenberechnung meistens nur einen Nebenzweck ihrer Beobachtung aus, was auch schon durch ihre grofse Seltenheit zum voraus bedingt wird. Die Berechnung selbst ist von so vielen mehr oder weniger ungewissen Elementen, als Länge und Breite des Mondes, Parallaxe, Halbmesser desselben, abhängig, dafs man auf genaue Resultate verzichten müfste, hätte nicht der vereinte Fleifs der Astronomen die meisten derselben durch mancherlei Umwege ausgemittelt und wüfste man sie nicht durch Beob-

---

1 Den neuesten Untersuchungen zufolge möchten sie auch von einem durch den Stern erweckten andauernden Lichtreize herrühren, da sie gemeiniglich nur bei sehr hellen Sternen, z. B. dem Aldebaran, bemerkt worden sind.

achtung an solchen Plätzen, deren geographische Lage bereits aufser Zweifel liegt, für jeden einzelnen Fall herzuleiten. Von ganz besonderem Nutzen für diese Längenbestimmung ist auch der Umstand, dafs bereits seit mehreren Jahren einzelne Rechner *quasi ex professo* dieser Berechnung sich angenommen haben, wodurch nicht nur eine grofse persönliche Fertigkeit erzeugt und eine Vermehrung der Resultate gewonnen, sondern wegen gleicher Annahme jener unsichern Gröfsen in die Rechnungen selbst eine Gleichförmigkeit gebracht wird, die auf die Uebereinstimmung der Resultate von wesentlichem Einflusse ist. Es ist eine Pflicht des Dankes im Namen der Wissenschaft, hier neben dem verstorbenen Triesnecker in Wien ganz besonders auch den unermüdet fleifsigen Prof. Wurm in Stuttgart zu nennen, der um diesen Theil der Astronomie sich unübertreffliche Verdienste erworben hat. Obwohl die Sternbedeckungen zur See sich nicht beobachten lassen, so dienen sie dennoch häufig zur genauen Bestimmung sehr entfernter Plätze, wo es etwa einem Reisenden gelingt, eine solche Beobachtung am Lande zu machen. Man hat daher in neuerer Zeit angefangen, um die Zahl dieser nützlichen Bestimmungen zu vermehren, die Anzeige der Bedeckungen nicht nur auf die Sterne vierter Gröfse, sondern selbst bis zur achten Gröfse auszudehnen, indem es bei der Vollkommenheit der heutigen Fernröhre möglich ist, im ersten und letzten Mondviertel auch von so kleinen Sternen wenigstens die Appulse am dunkeln Mondrande zu beobachten. Verzeichnisse dieser Art hat früher der Florentiner Astronom Inghirami in Zach's Correspond. Astronom. und seither Prof. Schumacher in seinen astronomischen Nachrichten geliefert und sie machen einen besondern Vorzug der neuen Ephemeride aus, mit welcher die Freunde der Astronomie durch die Thätigkeit des verdienten Prof. Encke in Berlin vom Jahre 1830 an beschenkt werden.

Länge aus Mondculminationen und Mondhöhen.

Statt der Conjunction des Mondes mit der Sonne oder einem Fixsterne kann man auch irgend einen andern Punct der Ekliptik zum Vergleichungspuncte wählen und in verschiedenen Meridianen die Zeit bemerken, zu welcher der Mond diese oder jene

Länge erreicht, und da die directe Beobachtung der Länge in der Ekliptik nicht möglich ist, so kann man dafür seine Bewegung im Aequator substituiren und die Zeit bestimmen, wenn er zu diesem oder jenem Grade der geraden Aufsteigung gelangt. Hierauf beruht die Methode, aus *Mondculminationen* die Länge abzuleiten. Zu dem Ende beobachtet man an einem wohlberichtigten Passageninstrumente die genaue Durchgangszeit des Mondes durch den Meridian und berechnet aus derselben mit Zuziehung der wahren Zeit oder Sternzeit die Rectascension des Mondes; alsdann sucht man in den Ephemeriden, z. B. in der Pariser *Connaissance des tems*, die wahre Zeit in Paris, welche der beobachteten Rectascension entspricht; der Unterschied beider Zeiten ist die Meridiandifferenz des Ortes von Paris. Statt der Angabe aus den Mondtafeln kann man auch eine in Paris durch wirkliche Beobachtung bestimmte Rectascension zu Hülfe nehmen und mit dieser und der stündlichen Aenderung des Mondes in gerader Aufsteigung rückwärts auf die Distanz der Meridiane schliefsen. Begreiflich kann auch die nämliche Vergleichung mit jeder andern Sternwarte angestellt werden. Gesetzt, man habe eines Tages in Paris die gerade Aufsteigung des Mondes bei seiner Culmination $= 100°$ gefunden, so wird diese an einem Orte, der um eine Stunde westlicher liegt, um so viel gröfser werden, als die stündliche Bewegung im Aequator beträgt, z. B. etwa $30'$ im Bogen oder $2'$ in Zeit. Dadurch aber wird der Mond selbst um so viel östlicher gerückt und kommt daher nicht nur um die Meridiandifferenz, sondern auch um diese $2'$ eigenthümlicher Bewegung später in den westlichern Meridian. Bezeichnet daher $\frac{h}{15}$ die stündliche Veränderung der Rectascension des Mondes in Zeit, Δ die Differenz der beobachteten Culminationszeiten, x ihren gesuchten Längenunterschied, alles nach wahrer Zeit ausgedrückt, so hat man $\frac{h}{15} : 1\ \text{St.} = \Delta : x + \Delta$, mithin

$$x = \frac{15 \cdot 3600'' \cdot \Delta}{h} - \Delta.$$ Die Genauigkeit, mit welcher auf gut bestellten Sternwarten die geraden Aufsteigungen beobachtet werden können, und die Möglichkeit, diese Beobachtung beinahe täglich zu wiederholen, gereicht dieser Methode sehr zur Empfehlung. Allein ihr Werth wird durch die Schwierigkeit, absolute gerade Aufsteigungen d. h. eine vollkommen richtige

Uhrzeit zu bestimmen, durch die Ungleichheit der Correctionen, welchen die Reduction des beobachteten Mondrandes auf das Centrum unterliegt, sehr vermindert, so daſs sie zwar öfters angeregt, nie aber in consecutive Ausübung gesetzt worden ist. Das Verdienst, sie zuerst vorgeschlagen zu haben, gehört wohl LEADBETTER[1]. Nach ihm haben BOUGUER, PINGRÉ, MASKELYNE, PIGOTT, VINCE, MAKAY[2], WOLLASTON, BRINKLEY, VON ZACH, BOHNENBERGER, LINDENAU und Andere sie empfohlen. LA CAILLE hielt sie für allzu ungenau[3]. Die Seltenheit der Passageninstrumente in früherer Zeit, der vergröſserte Einfluſs der Beobachtungsfehler auf die gesuchte Länge, den man im Mittel auf das 26fache der Beobachtung setzen darf, und wohl auch der Umstand, daſs die meisten Astronomen zur Längenberechnung eine unrichtige Vorschrift gaben, indem sie den Unterschied der Culminationszeiten einfach der Meridiandifferenz gleichsetzten[4], mochten neben den oben bemerkten Schwierigkeiten ihre Verbreitung gehindert haben. In den neuern Zeiten hat sie durch Professor NICOLAI in Mannheim eine sehr glückliche Modification erhalten[5], indem man, statt die wahre Culminationszeit des Mondcentrums zu bestimmen, nur das Intervall angiebt, das zwischen dem Durchgange des erleuchteten *Mondrandes* und eines nahe auf dem nämlichen Parallelkreise befindlichen, benachbarten Fixsterns verflieſst Hierdurch entgeht man der Unsicherheit der verschiedenen Reductionselemente und selbst dem Einflusse einer nicht völlig richtigen Stellung des Mittagsfernrohres. Zu mehrerer Uebereinstimmung werden in einer kleinen Ephemeride den Astronomen zum voraus die Sterne angezeigt, auf welche sie ihr Augenmerk zu richten haben. Die Berechnung der Beobachtungen besteht nach NICOLAI in Folgendem[6]. Es seyen t und τ die unter zwei verschiedenen Me-

---

1 A compleat system of Astronomy. 2 Vol. 8. 1728.

2 Theory and practice of finding the longitude at Sea and Land II Vol. with tables.

3 Mémoires de l'Acad. a. 1759.

4 GAVIN LOWE (Monatl. Correspond. VIII. S. 277) war der erste, der dieses Verfahren tadelte, seine Erklärung ist aber verworren und seine Regel ebenfalls unrichtig.

5 Schumacher's Astronom. Nachrichten. Bd. I. S. 7.

6 Ebend. Bd. II. S. 17.

ridianen beobachteten Unterschiede der Culmination des Mondrandes und des Sterns, also $t - \tau = \Delta$; $\frac{h}{15}$, wie vorhin, die stündliche Aenderung der Rectascension des Mondes in Zeit aus den Ephemeriden entnommen, und zwar für den Zeitmoment, der zwischen den wahren Zeiten der Culminationsbeobachtungen an beiden Orten in der Mitte liegt. Da am Passageninstrumente gemeiniglich nach Sternzeit beobachtet wird, die Stellungen des Mondes aber in den Ephemeriden nach wahrer Zeit gegeben sind, so müssen diese durch das Verhältnifs des wahren Sonnentages zum Sterntage, das wir m nennen wollen, reducirt werden. Alsdann hat man, wie oben, für die Meridiandifferenz x die Proportion $\frac{h}{15 \cdot m} : 1 \text{ St.} = \Delta : x + \Delta$; daraus $x = \left(\frac{m \cdot 15 \cdot 3600''}{h} - 1\right) \cdot \Delta$. Die Werthe von h lassen sich aus den in den neuesten Ephemeriden genau berechneten Angaben von 12 zu 12 Stunden auf folgende Weise ableiten. Man interpolire aus diesen die geraden Aufsteigungen des Mondes für einige consecutive Stunden in aller Schärfe, ziehe ihre stündlichen Differenzen aus und bilde aus diesen diejenige, welche der Mittelzeit der Culminationen, auf den Meridian der Ephemeride gebracht, zukommt. Die beobachtete Ascensionaldifferenz Δ erleidet noch eine kleine Verbesserung, welche von der Gröfse des Mondhalbmessers im Aequator in den verschiedenen Beobachtungsmomenten abhängig ist, indem dieser letztere sowohl durch die Aenderung der Horizontalparallaxe, als auch durch die verschiedene Deklination modificirt wird. Es sey dieser an der westlichen Station $= r$, an der östlichen $= \varrho$, die zugehörigen Deklinationen d und δ, so ist das verbesserte $\Delta = t - \tau \mp \frac{1}{15}\left(\frac{r}{\text{Cos. } d} - \frac{\varrho}{\text{Cos. } \delta}\right)$; das untere Zeichen gilt, wenn der westliche, das obere, wenn der östliche oder zweite Mondrand beobachtet worden ist.

Beispiel. Am 3. März 1822 beobachtete Prof. Struve in Dorpat an den 7 Fäden des Mittagsfernrohres folgende Ascensionaldifferenzen des ersten Mondrandes[1].

---

1 Schumacher's Astronom. Nachrichten. Bd. I. S. 356.

Mit 309 Mayeri	+ 10′ 17″,56
82 Geminorum	+ 5′ 8″,55
μ Cancri	— 12′ 41″,89.

Eben diese Abstände wurden in Mannheim von Prof. NICOLAI an 5 Fäden folgendermaſsen beobachtet[1]:

☽ mit 309 Mayeri	+ 13′ 18″,30
82 Geminorum	+ 8′ 9″,43
μ Cancri	— 9′ 4′,11.

Werden die Angaben des nämlichen Sterns von einander abgezogen, so erhalten wir für t — τ folgende Werthe:

Aus 309 Mayeri	3′ 0″,74
82 Geminorum	3′ 0″,88
μ Caneri	3′ 0″,78
Mittel	3′ 0″,800.

Die beiläufig bestimmte wahre Zeit dieser Beobachtungen in Paris ist

	für Dorpat	für Mannheim
3. März	$7^h\ 9'$	$8^h\ 25'$
für diese erhält man	$r = 15'\ 45'',0$	$\varrho = 15'\ 45'',4$
aus den Ephemeriden	$d = 23^\circ\ 55',7$	$\delta = 24^\circ\ 6',6.$

Mithin die Correction $+ \frac{1}{15} \left(\frac{r}{\text{Cos. } d} - \frac{\varrho}{\text{Cos. } \delta}\right) = - 0'',127.$

Also $\Delta = 180'',800 - 0'',127 = 180'',673.$

Aus der Connaissance des tems ergiebt sich ferner für

W. Par. Zt.	AR	Stündl. Bewegung in AR
$7^h\ 0$	115° 58′ 10″,9	35′ 46″,5 für $7^h\ 30'$
$8^h\ 0$	116° 33′ 57″,4	
$9^h\ 0$	117° 9′ 37″,8	35′ 40″,4 für $8^h\ 30'$.

Also h für $7^h\ 47'$ oder das Mittel der auf Paris reducirten Beobachtungsmomente = 35′ 44″8.

Das Verhältniſs der wahren Sonnenzeit zur Sternzeit oder m ist für den dritten März $= \frac{24^h\ 3'\ 43''}{24\ h} = 1,00258.$

1 Schumacher's Astronom. Nachrichten. Bd. II. S. 20.

Man hat also

$$
\begin{array}{lcl}
\text{Log. } m & = & 0{,}00112 \\
\text{Log. } 15 & = & 1{,}17609 \\
\text{Log. } 3600 & = & 3{,}55630 \\
\text{Log. } \varDelta & = & 2{,}25690 \\
\hline
\text{Summe} & & 6{,}99041 \\
\text{Log. } h & = & 3{,}33139 \\
\hline
\text{Log.}(x+\varDelta) & = & 3{,}65902 = 1\text{ St. } 16'\ 0'',6 \\
 & & \varDelta = -\quad 3'\ 0'',7 \\
\hline
 & & 1\text{ St. } 12'\ 59'',9.
\end{array}
$$

Addirt man hierzu die Länge von Mannheim = 24′ 31″,8, so erhält man für Dorpat 1 St. 37′ 31″,7; aus vielen Sternbedeckungen ist dieselbe = 1 St. 37′ 35″,0. Bei sehr grofsen Längenunterschieden räth Professor Nicolai ein *indirectes* Verfahren an, nämlich mit einer *supponirten* Meridiandifferenz den ihr entsprechenden Unterschied der Mondrectascensionen zu berechnen, diesen mit dem Beobachteten zu vergleichen und dann aus der Abweichung beider mit Hülfe der stündlichen Bewegung die nöthige Verbesserung der supponirten Meridiandifferenz zu suchen. Dieses sehr zweckmäfsige Verfahren hat Nicolai durch Berechnung einer Längenbestimmung zwischen *Paramatta* und Mannheim vollständig erläutert und zugleich die Uebereinstimmung mit der von Baily in London vorgeschlagenen Berechnungsmethode dargethan.

Statt der directen Bestimmung der Rectascension des Mondes durch seinen Durchgang im Meridiane hatte Leadbetter auch *Mondhöhen* vorgeschlagen, aus welchen bei bekannter Polhöhe, wahrer Zeit und Monddeklination der Stundenwinkel desselben oder sein Abstand vom Meridiane, mithin seine gerade Aufsteigung zu berechnen und der Beobachtungmoment mit demjenigen, der diesem Mondorte nach der Ephemeride zukommt, zu vergleichen wäre. Diese Methode schien sich vorzüglich für den Gebrauch zur See zu eignen, wo die Beobachtung der Culmination unmöglich war. Pingré, der sich von diesem Vorschlage etwas Nützliches versprach, lieferte mehrere Jahre hindurch in seinem État du ciel nicht etwa die Rectascensionen, sondern sogar die Stundenwinkel des Mondes für den Pariser Meridian. La Caille hingegen fällte über densel-

ben ein ungünstiges Urtheil[1] und schlug den möglichen Fehler dieser Längenbestimmung im Maximum auf 35 Grade an, eine allerdings sehr übertriebene Gröſse, die er jedoch auf Voraussetzungen gründete, welche zu seiner Zeit gar wohl statt finden konnten. Er nahm hierbei 2 Minuten Fehler in der berechneten Abweichung des Mondes, 4 Minuten in der angenommenen Breite und 4 Minuten in der beobachteten Mondhöhe an und wenn sich auch heutzutage der Gesammteinfluſs dieser Annahmen um etwa 100 mal[2] geringer setzen läſst, so bleibt doch noch eine Unsicherheit von $\frac{1}{3}$ Grad in der Länge übrig, die nicht mehr unter die zulässigen Dinge gehört. Wirklich ist auch dieser Vorschlag in keine Ausübung gekommen und er verdient auch jetzt, der eben erwähnten Mängel wegen, keine Berücksichtigung[3]. Weit besser läſst sich die Länge zur See durch die folgende Methode erreichen, die durch den Fleiſs der Astronomen und die Verbesserung der Instrumente zu einer solchen Genauigkeit und Brauchbarkeit erhoben worden ist, daſs sie das Eigenthum und die beständige Zuflucht jedes unterrichteten Seefahrers ausmacht.

Längenbestimmung durch Monddistanzen.

Wenn man mit einem Winkelmesser den scheinbaren Abstand des Mondes von der Sonne, einem Fixsterne oder einem Planeten miſst, so läſst sich hieraus der wahre Bogenabstand zwischen Gestirn und Mond, so wie er vom Centrum der Erde aus erscheinen würde, berechnen und demnach die Länge des Mondes in der Ekliptik bestimmen, welche, mit der Angabe einer astronomischen Ephemeride verglichen, durch Zuziehung der wahren Zeit der Beobachtung die Meridiandifferenz erkennen

1 Mémoires de l'Acad. 1759.

2 Ich schlage den Fehler der berechneten Abweichung wegen unsicherer Meridiandifferenz auf 15 Secunden, denjenigen der Breite aus der Schiffsrechnung auf 2 Minuten, den der gemessenen Höhe zur See auf 20 Secunden an, der überdem durch die Reductionselemente, Mondparallaxe und besonders durch die veränderliche Refraction des Seehorizontes beträchtlich vergröſsert werden kann.

3 S. über die Längenbestimmung durch Mondhöhen einen lehrreichen Aufsatz von v. Lindenau in d. monatl. Corresp. des B. von Zach. Bd. XII. S. 541.

lehrt. Man kann aber auch in den Ephemeriden aus der Länge und Breite des Fixsterns oder der Länge der Sonne in der Ekliptik zum voraus solche geocentrische Abstände des Mondes von einem Gestirne für bestimmte Zeiten berechnen und aus diesen Daten den Moment ableiten, welcher nach dem Meridiane der Ephemeride dem anderwärts gemessenen Abstande zukommt. Dieses ist die *Methode der Monddistanzen.* Sie hat vor den Sonnenfinsternissen und Sternbedeckungen den wesentlichen Vortheil, dafs sie (mit Ausnahme von etwa sechs bis acht Tagen im Monate) jederzeit in Anwendung gebracht werden kann und dafs bei ihr die Reduction auf das Centrum der Erde, die Verbesserung für Refraction und Parallaxe durch einen weit kürzern und von unsichern Rechnungselementen weniger abhängigen Calcul abgethan werden kann. Dagegen steht sie den Sternbedeckungen an Genauigkeit nach, obgleich auch dieser Mangel durch die Güte der Instrumente, die Geschicklichkeit des Beobachters und die nach Belieben zu vermehrende Zahl der Beobachtungen in bedeutendem Mafse compensirt werden kann.

Johann Werner, ein Nürnberger, war der erste, der im Jahre 1514 in seinen Anmerkungen über das J. B. der Geographie des Ptolemaeus die Beobachtungen der Abstände der Fixsterne vom Monde zur Erfindung der Meereslänge vorschlug. Peter Biennewitz (Apianus), ein Sachse, brachte dieselbe Methode im Jahre 1524 in Vorschlag; er erklärt sehr bestimmt, wie man Abstände des Mondes von solchen Sternen, welche in der Nähe der Ekliptik liegen, zu Längenbestimmungen gebrauchen soll. Orontius Fineus, Professor der Mathematik in Paris, und Gemma Frisius, ein Arzt in Antwerpen, kamen im Jahre 1530 auf denselben Gedanken; Peter Nunnez (Nonius), Professor zu Coimbra, und Daniel Santbeck aus Nimwegen kannten diese Methode im Jahre 1560; Kepler empfahl sie im Jahre 1600 und Joh. Morinus, Arzt und Prof. der Mathem. in Paris, schlug sie 1633 dem Cardinal Richelieu und im Jahre 1645 dem Cardinal Mazarin vor[1].

Noch fehlte es zur guten Ausführung dieser Idee an zwei wesentlichen Hülfsmitteln, an genauen Mondtafeln und an tauglichen Winkelmessern. Beides lieferte England. Carl II. liefs

1 Aus der monatl. Correspond. z. Beförder. d. Erd- u. Himmelskunde vom Baron v. Zach. Bd. IV. S. 625.

im Jahre 1665 die Sternwarte in Greenwich erbauen, damit durch fortgesetzte Beobachtungen des Mondlaufes die Astronomen die Mittel erhielten, genaue Tabellen desselben zu verfertigen. Flamstead's Fleifs und Genauigkeit im Beobachten und Newton's Scharfsinn in der Gründung der Theorie setzten den thätigen Halley in den Stand, genauere Tafeln, als je vorher, zu verfertigen. Newton erfand im Jahre 1699 den Spiegelsextanten, der nachher durch Hadley als Miterfinder allgemein verbreitet wurde, was jedoch erst mit dem Jahre 1732 begann. Im Jahre 1750 versuchte es La Caille bei seiner Reise nach dem Vorgebirge der guten Hoffnung, über die Brauchbarbeit der neuen Methode ins Klare zu kommen. Allein die schlechte Theilung der damaligen Instrumente und die Fehler der Halleyschen Mondtafeln konnten nicht zu günstigen Resultaten führen. Erst mit dem Jahre 1755, als Tobias Mayer seine ersten Mondtafeln der englischen Admiralität übergeben hatte, erschien die Zeit, da die längst vorgeschlagene neue Längenbestimmung ins Leben treten konnte. Admiral Campbell war der erste Seefahrer, der in den Jahren 1757, 58 und 59 mit einem messingenen Hadleyischen Sextanten Mondabstände mafs, die, von Bradley nach Mayer's Tafeln berechnet, erwünschte Resultate gaben[1]. Während man diese Methode in England in Ausübung zu setzen begann, war der durch seine nachherige Reise in Arabien berühmte Niebuhr durch Tobias Mayer selbst mit ihr so vertraut gemacht worden, dafs er nicht nur aus seines Lehrers handschriftlichen Tafeln die Mondlängen selbst berechnen konnte, sondern schon zu Anfange des Jahres 1761 auf seiner Reise durch das mittelländische Meer die Längen vom Cap *Vincent*, Cap *Spartel*, *Gibraltar*, *Marseille* durch seine Monddistanzen, zwar beträchtlich abweichend von den damaligen Annahmen, aber desto mehr im Einklange mit den neuern Angaben, bestimmte. Dieses geschah in demselben Jahre und noch ehe Dr. Maskelyne nach *St. Helena* abgereiset war, um daselbst den Durchgang der Venus vor der Sonnenscheibe zu beobachten und beiläufig auch die Methode der Monddistanzen

1 Nach Canovai (Elogio di Americo Vespucci) soll dieser Seefahrer durch eine Distanz des Mars vom Monde seine Länge bestimmt haben. P. Feuillée beobachtete mit einem Jacobsstabe (flèche) am 26. Jun. 1708 den Abstand des Mondes von der Spica in der Jungfrau.

zur See zu prüfen. Die Längenbestimmungen, die Niebuhr damals in Aegypten auf diesem Wege machte, würden ohne Zweifel wesentlich dazu beigetragen haben, die Methode der Monddistanzen in Credit zu bringen, hätte nicht der Tod seines Lehrers, Tobias Mayer, den allzu bescheidenen Mann von der Bekanntmachung seiner trefflichen Beobachtungen zurückgehalten, bis sie endlich im Jahre 1801 von dem neuesten Verbesserer der Mondtafeln, Prof. Bürg in Wien, in Rechnung genommen und von dem Baron v. Zach[1] herausgegeben wurden. Mit Cook begann darauf im siebenten Decennium des vorigen Jahrhunderts eine neue Epoche für die Längenbestimmungen zur See, an welcher besonders die Monddistanzen, die er in ungewöhnlichem Maſse vervielfältigte, den wichtigsten Antheil hatten. Seitdem sind sie auf allen gröſsern Reisen, zumal den Entdeckungsreisen, in beständiger Anwendung und die neuesten Bemühungen von Sabine zeigen, daſs ein geschickter Beobachter mit ausgesuchten Instrumenten auf diese Weise eine Längenbestimmung zuwege bringen kann, welche derjenigen durch Sternbedeckungen an Genauigkeit nur wenig nachsteht.

Die Methode der Monddistanzen zerfällt in zwei wesentliche Arbeiten, die *Beobachtung* und die *Berechnung*. Die Erstere gehört, zumal bei der oft unbequemen Lage auf dem Schiffe und bei der Beweglichkeit des Standpunctes, zu den schwierigern Verrichtungen der praktischen Astronomie. Gewöhnlich nimmt man etwa fünf Beobachtungen nach einander, was die Engländer einen *Set* nennen, um aus diesen das Mittel zu ziehen. Ein Paar Gehülfen beobachten zu gleicher Zeit die Höhen des Mondes und der Sonne; zu Lande werden diese gemeiniglich durch Rechnung abgeleitet. Durch die Erfindung seiner Theilmaschine hatte Ramsden (obwohl ihr Princip heut zu Tage nicht zulässig scheint) die Theilung der Sextanten auf eine vorher nie erreichte Schärfe gebracht und überhaupt diesem kleinen Werkzeuge durch solideren Bau groſse Genauigkeit verschafft. Troughton erhöhte seine Vorzüge durch Anbringung starker Vergröſserungen, die besonders bei Monddistanzen von merklichem Vortheile sind. Durch de Borda wurde das von Tobias Mayer erfundene Princip der repetirenden Messung

---

1 In seiner monatl. Corresp. z. Beförder. d. Erd- und Himmelskunde. Bd. IV u. V.

auch auf dieses Instrument angewandt, wodurch der *Spiegelkreis* entstand, dem die französischen Beobachter, mit ihnen auch neuestens Capitain Sabine, vor dem Sextanten den Vorzug geben. Allerdings werden durch die Repetition die Fehler der Excentricität und der Theilung gröfstentheils eliminirt; allein diese Vortheile werden durch den um die Hälfte verkleinerten Radius der Theilung, das gröfsere Gewicht des Instrumentes, das Unbequeme der umgewandten Beobachtungen und besonders durch die Schwierigkeit, so starke Fernröhre wie bei Sextanten anzubringen, mehr als aufgewogen. Hierzu kommt noch besonders zur See der Umstand, dafs, wegen unbequemer Lage und Bewegung des Schiffes, nicht alle Beobachtungen mit gleicher Schärfe gemacht werden können, wobei man beim Gebrauche des Sextanten den Vortheil hat, jede fehlerhafte Beobachtung aus dem arithmetischen Mittel wegzulassen, während sie beim Multipliciren das Resultat auf eine unausweichliche Art verschlechtert. Auf den Sternwarten ist man von dem Principe des Repetirens schon meistens zurückgekommen, indem die gewöhnliche Eilfertigkeit dieses Verfahrens, das Spiel der Klammern und Mikrometerschrauben, die Spannungen und Dehnungen des Instrumentes seine Vortheile beträchtlich vermindern; auch sollte es bei der heutigen Vollkommenheit der Theilmaschinen und der sorgfältigern Centrirung dem Künstler nicht schwer fallen, auch jene Fehler gröfstentheils zu beseitigen. Zu wünschen ist allerdings, dafs irgend eine vorzügliche Officin Englands oder des Continents es sich zur Angelegenheit mache, diesem höchst brauchbaren Werkzeuge sowohl durch die Vermeidung der genannten Mängel, als besonders auch durch möglichste Fehlerlosigkeit der Spiegel und Dämpfgläser diejenige Vollkommenheit zu geben, deren es allerdings fähig ist. Sollte es der Glasmacherkunst noch gelingen, ganz streifenfreie Prismen zu verfertigen, welche hinreichende Vergröfserung vertrügen, so würde ein *Refractionsquadrant* nach Amici's Angabe[1] das vollkommenste Werkzeug für Astronomie und Geodäsie ausmachen. Man würde dann Monddistanzen bis auf 160 Grade messen, da sie jetzt wegen der schwachen Reflexion des stark geneigten Spiegels nicht über 125° gehen dürfen.

---

1 Correspondance Astronomique du Baron de Zach. Tome VI. p. 554.

Die *Berechnung* der Monddistanzen ist an sich weder weitläufig noch schwierig, indem sie nur die Auflösung zweier sphärischen Dreiecke zum Gegenstande hat, die einen Winkel gemein haben, dessen einschliefsende Seiten veränderlich sind. Diese letztern sind die Zenithdistanzen beider Gestirne, welche durch Refraction und Parallaxe, die besonders beim Monde von Bedeutung ist, geändert werden. Dieser Einfachheit ungeachtet giebt es wohl keine Aufgabe der praktischen Astronomie, deren Berechnung man mehr abzukürzen gesucht hätte, wie diese. Wir haben dafür directe Auflösungen, Näherungsformeln, graphische Methoden und Reductionsinstrumente. Wenn auch diese Bemühungen zunächst dem im mathematischen Calcul weniger geübten Seefahrer galten, wenn besonders früher hier und da das Vorurtheil herrschend war, als ob wissenschaftliche Bildung sich mit dem Muthe, dessen der Seemann bedarf, weniger vertrüge, so waren nichts destoweniger jene Erleichterungen auch dem geübtern Rechner willkommen und das beste Ermunterungsmittel zur fleifsigen Ausübung dieser Methode. Auch der Astronom auf seinem Studirzimmer sucht öfters wiederkehrende Rechnungen durch Methoden und Hülfstafeln abzukürzen; wie viel mehr tritt dieses Bedürfnifs da hervor, wo man in der unbequemsten Lage, im Getümmel des Schiffslebens, oft im Gedränge besorglicher Umstände eine solche Rechnung abzuthun hat!

So viel auch zu diesem Behufe Euler, Kraft, Dunthorne, de Borda, Loper Royo, Galiano, Huber, Maskelyne, Lyons, Mendoza, Bowditch, Legendre, Delambre, Garrard, Giraudi, Guepratte, Horner u. A. sich bemüht haben, den Formeln eine bequeme Gestalt zu geben, so viel auch hierin von Dunthorne [1], Legendre [2], Delambre [3], Guepratte [4], besonders von Mendoza [5] durch Bearbeitung mehr

1 Durch Einführung einer Tafel für den Quotienten aus dem Cosinus der scheinbaren Mond- und Sonnenhöhen. Siehe die engl. Requisite tables, den Cours d'Astronomie nautique p. Ducom. 8. 1820. und Guepratte's Problèmes d'Astronomie nautique. 2 Vol. 8. 1823. Sec. éd. Handbuch der Schifffahrtskunde.

2 Mémoir.

3 Connaissance des tems p. l'an XIV.

4 Additions aux probl. d'Astron. nautique.

5 A compleat collection of tables for navigation and nautical Astronomy. 4. 1805. Seine Hülfstafeln zur Reduction der Monddistanzen nehmen 345 Seiten in grofs Quart ein.

oder weniger ausgedehnter Hülfstafeln geleistet worden ist, so fehlt es dennoch bis jetzt an einer Methode, welche vollständige Genauigkeit mit Leichtigkeit verbände. Schärfere Untersuchungen zeigen, dafs der Einflufs, welchen veränderter Barometerstand und Temperatur auf die Refraction ausüben, auch bei den Monddistanzen nicht unbedeutend wirkt, so dafs keine Distanzmessung für vollständig erklärt werden kann, bei welcher der Stand jener Instrumente nicht angegeben ist; dennoch nehmen jene Hülfstafeln (auch die von Mendoza) hierauf keine Rücksicht und eben so wenig sind sie den Verbesserungen angepafst, welche seit der Einführung der Mondabstände von Planeten die nicht unbedeutende Parallaxe dieser letztern nöthig macht. Von der Correction für die Abplattung der Erde, die auf die Längenbestimmung einen Einflufs von 4 bis 5 Minuten haben kann, ist selten die Rede, eben so wenig von der Verbesserung für die elliptische Gestalt der Sonnen- oder Mondscheibe bei niedrigen Höhen und noch weniger von dem Umstande, dafs eben dieser Abplattung wegen die Berührung der Ränder im Instrumente nicht immer auf der Linie statt hat, welche die Mittelpuncte beider Himmelskörper verbindet, sondern am Puncte des zunächst liegenden gröfsten Radius Vector[1]. Wenn auch diese Feinheiten bei den Beobachtungen zur See nicht immer in Betracht kommen, so dürfen sie dagegen nach dem gegenwärtigen Zustande unserer Instrumente und der Mondtafeln nicht aufser Acht gelassen werden und selbst zur See giebt es Fälle, wo die Messungen mit grofser Genauigkeit sich anstellen lassen und wo es wichtig ist, entweder die Länge eines Platzes oder den Fehler der Chronometer mit möglichster Genauigkeit zu bestimmen. Auf jeden Fall ist ersichtlich, dafs die Frage über den Vorzug der sogenannten directen Formeln, welche unmittelbar die verbesserte Distanz finden lassen, oder der Näherungen, durch welche man nur die gesuchte Verbesserung der Distanz erhält, ziemlich überflüssig sey. Auch die berühmte de Bordasche Methode giebt unter gewissen Umständen kein richtiges Resultat und entschädigt den Rechner nicht für das genaue Aufschlagen so vieler Sinus zu 7 Decimalstellen, da hingegen die Leichtigkeit, mit welcher die fünfzifferigen Logarithmen beinahe ohne

1 Eine Bemerkung von Duhamel, Professor der nautischen Astronomie in Toulon.

alle Interpolation sich finden lassen, eine beträchtliche Abkürzung darbietet. Will man endlich ganz genau verfahren, so kann dieses nicht durch eine solche directe Formel geschehen, sondern man ist genöthigt, die theilweisen Verbesserungen zu suchen, indem man die Distanz erstlich von der Strahlenbrechung befreit, dann die Höhen durch den an der Polhöhe angebrachten Angle de la verticale et du rayon verbessert und erst mit diesen die Parallaxenrechnung anstellt. Unter solchen Umständen dürfte diejenige Methode für die beste gehalten werden, welche bei einer Genauigkeit von einigen Secunden die gröfste Schnelligkeit darböte, zugleich aber es möglich machte, auf demselben Wege auch alle die Verbesserungen zu erreichen, welche der heutige Stand der praktischen Astronomie und das Bedürfnifs der Geographie zu fordern scheinen.

Aus dem Gesagten ergiebt sich leicht, was von den graphischen Methoden und den verschiedenen Instrumenten zu halten sey, die zur Reduction der Monddistanzen vorgeschlagen worden sind. Auch die besten sind höchstens auf 5 bis 6 Secunden genau; einige derselben sind sehr zusammengesetzt und diese erfordern beim Gebrauche eine Sorgfalt und Genauigkeit, die sie in Absicht auf Schnelligkeit und Leichtigkeit der Operation den bessern Rechnungsmethoden nachsetzt, wobei auch die möglichen Rechnungsfehler der letztern durch fehlerhaftes Ansetzen bei den erstern leicht aufgewogen werden. Wir erwähnen hier MARGETT's *tables*, welche auf 70 Charten in Folio, die mit verschiedenen Curven durchzogen sind, die Elemente der Reduction enthalten. Besser noch ist MAIGNOU's Carte trigonométrique, servant à reduire la distance apparente de la lune au soleil etc.[1]. Schon ROCHON hatte ein Instrument zur Reduction der Monddistanzen angegeben, das aus drei Kreisen bestand[2] und bis auf 5 Secunden genau seyn sollte. Eben dieses leistete RICHER's Reductionskreis[3], der aber für seinen Zweck allzukostbar war. Im Jahre 1790 gab STEPHEN LE GUIN in London die Beschreibung eines neuen Instrumentes

1 Mémoires de l'Institut. IV. p. 467.

2 S. Connaissance des temps. Année VI. p. 275.

3 LALANDE abrégé de navigation p. 63. und CALLET supplément à la trigonometrie de Bézout und Connaissance des temps. Année IV. p. 220.

dieser Art heraus, auf welches er ein Patent nahm. VAN SWINDEN und NIEWELAND veranstalteten eine Uebersetzung derselben. Die Einführung der schon in LEUPOLD's *Theatrum machinarum* vollständig beschriebenen, auch von LAMBERT empfohlenen logarithmischen Rechenstäbe veranlafsten einen gewissen DAVID THOMSON, die fehlerhafte Methode des Americaners ELFORD unter dem Namen *the longitude scale or lunar-corrector* in eine mechanische Operation zu verwandeln, wobei er jedoch noch eine Hülfstafel von 51 Seiten in gr. 8. beifügen mufste, um die unvermeidlichen Mängel seines Verfahrens einigermafsen zu decken.

Längenbestimmung durch Chronometer.

So wie die Methode der Monddistanzen erst nach der Verbesserung der Mondtafeln ins Leben treten konnte, so lag auch in der Vervollkommnung der Uhren die einzige Bedingung der Ausführbarkeit des ersten und einfachsten Vorschlages zur Längenbestimmung. Ueber das Geschichtliche dieser bewundernswürdigen Werkzeuge verweisen wir auf den Artikel *Chronometer.* Hier in Kürze dasjenige, was ihre Anwendung zur Längenbestimmung betrifft. Gesetzt, man hätte eine solche Uhr, die, weder voreilend noch retardirend, Tage, Wochen und Monate in 24 Stunden ihre 84600 Secunden hielte, so würde diese, einmal am Orte der Abfahrt im Momente des Mittags auf 0 oder 12 Uhr gerichtet, jeden folgenden Tag den Moment angeben, wenn es an jenem Orte Mittag wäre, oder auch für jede andere Stunde die richtige Zeit daselbst erkennen lassen. Ist inzwischen der Beobachter nach Westen gereiset, so wird er finden, dafs der Mittag seines Beobachtungsortes und jede andere durch eine astronomische Beobachtung abgeleitete Zeitepoche um mehrere Minuten und Secunden später eintritt, als sie zufolge des Chronometers am Orte der Abfahrt statt finden. Diese Verschiedenheit der Zeitmomente oder die auf der Uhr angegebene Verspätung ist der *Meridianunterschied.* Alle diese Vergleichungen können jedoch wegen der veränderlichen Länge des Sonnentags nicht nach *wahrer Zeit* gemacht, sondern alle Zeitbestimmungen müssen vorher auf *mittlere Zeit* gebracht werden. Hat, was eher vorauszusetzen ist, die Uhr einen täglichen Gang, eilt sie z. B. in 24 Stunden um 12 Secunden vor, so wird man für jeden

folgenden Tag je 12 Secunden von ihrer Angabe abziehen müssen, um die richtige Zeit des Ortes der Abfahrt zu erhalten; zeigte sie aufserdem am Tage der Abreise im Mittage nicht genau auf 12 Uhr, sondern in Folge ihrer Voreilung z. B. auf $12^h\ 15'\ 24''3$, so müssen ihre Angaben jedesmal auch um diese $15'\ 24''3$ vermindert werden, wenn man die Zeit jenes Ortes wissen will. Man nennt dieses den *Uhrfehler* (état de la montre, engl. *original error*). Er bildet mit dem *täglichen Gange* der Uhr die zwei Elemente der Längenberechnung. Von der genauen Kenntnifs des letztern hängt die Genauigkeit der Längen wesentlich ab. Zu Lande hat dieses keine Schwierigkeit, weil man sich nur ein paar Tage an dem nämlichen Orte aufzuhalten braucht, um durch Beobachtungen denselben zu prüfen. Allein zur See wäre eine solche Säumnifs ebenso zweckwidrig, als wegen der Winde und Strömungen unausführbar. Man mufs sich also mit Vermuthungen und wahrscheinlichen Annahmen behelfen. Gesetzt, der Chronometer habe vom Orte der Abfahrt bis zum Orte der Ankunft während 50 Tagen seine tägliche Voreilung von — $12'',05$ auf — $17'',72$ geändert, so mufs man, insofern man sich keines plötzlichen störenden Zufalls bewufst ist, voraussetzen, dafs diese Aenderung nicht plötzlich, sondern allmälig vorgegangen sey, und man findet die tägliche Zunahme der Voreilung, indem man jene Aenderung durch die Zahl der Tage dividirt; also $\frac{17,72 - 12,05}{50} = 0,1134$ Secunden. Diese täglichen Zunahmen bilden also eine arithmetische Reihe, deren Differenz $= 0'',11$ ist, und das Quantum von Minuten und Secunden, um welches die Uhr in einer gegebenen Anzahl von Tagen, z. B. in 35 Tagen, vorgerückt ist, ist $= 35 \times 12'',05 +$ der Triangularzahl von 35, multiplicirt mit $0'',113$, oder $630 \times 0,113$, also $= 421'',75 + 71'',44$, im Ganzen $= 8'\ 13'',20$. Dieses wäre also die Zahl, die man von der Uhrzeit abziehen müfste, um die richtige Zeit des Ortes der Abfahrt zu erhalten. Auch ohne den Gang der Uhr am Orte der Ankunft zu kennen, kann man aus der bekannten Länge desselben durch Vergleichung die Zeit bestimmen, welche die Uhr daselbst zeigen sollte, und sie mit der wirklichen Angabe vergleichen. Gesetzt, die Uhr, die am Orte der Abfahrt einen Fehler von $0^h\ 15'\ 24'',3$ hatte, zeige nach 50 Tagen am Orte der Ankunft $2^h\ 51'\ 29'',9$; der Meridianunterschied dieses Ortes von jenem betrage $2^h\ 23'\ 16'',0$; Unter-

schied = $0^h\,28'\,13'',9$, von welchem noch der ursprüngliche Uhrfehler $0^h\,15'\,24'',3$ abzuziehen ist; mithin bleiben als Voreilung der Uhr übrig $12'\,49'',6$; mit dem frühern täglichen Gange von $12'',05$ wären es nur $10'\,25'',0$ geworden; es bleiben demnach $2'\,24'',6$ als Folge der allmälig vermehrten Beschleunigung übrig. Nennt man nun diese kleine tägliche Zunahme der Voreilung x, so hat man eine arithmetische Reihe von 50 Gliedern, deren Summe $2'\,24'',6$ beträgt und die sich in der Ordnung von x, 2x, 3x.... folgen. Die Summe dieser Reihe ist gleich dem Mittel aus dem ersten und letzten Gliede, multiplicirt durch die Anzahl der Glieder, also $= \frac{x + 50x}{2} \times 50 = 51x \times 25 = 1275x$, es ist daher $1275x = 144'',6$ und $x = \frac{144,6}{1275} = 0'',1134$. In 50 Tagen würde dieses $5'',67$ ausmachen und der Gang der Uhr am Schlusse derselben betrüge $-(12'',05 + 5'',67) = -17'',72$. Hätte man die während der 50 Tage durch den Chronometer bestimmten Längen nur mit dem anfänglichen Gange von $12'',05$ berechnet, so würde man z. B. am 34sten Tage um $1'\,11'',44$ in Zeit oder $17'\,51'',5$ im Bogen gefehlt haben.

So richtig dieses Verfahren an sich ist und so sehr es den Regeln der Wahrscheinlichkeit entspricht, so gewagt würde es seyn, sich durch dasselbe gegen die veränderlichen Launen dieser delicaten Werkzeuge für gesichert zu halten. Selbst das Mittel aus den Angaben mehrerer Chronometer gewährt nur eine annähernde, keine absolute Sicherheit und leicht kann ein gemeinschaftlicher Einfluſs sie alle auf die gleiche Art von der Wahrheit entfernen. Sehr leicht wäre es möglich, daſs in dem angenommenen Beispiele der Chronometer während der 50 Tage noch eine geraume Zeit seinen Gang unverändert beibehalten und erst später, etwa in Folge eines Sturmes oder eines starken und schnellen Temperaturwechsels, denselben bedeutend geändert hätte. Hier giebt es keinen andern Rath, als sich an das Universalmittel zur Längenbestimmung, die Monddistanzen, zu halten und mit möglichster Sorgfalt mehrere Tage nach einander durch solche Beobachtungen die wahre Länge zu fixiren. Die Uebereinstimmung der Resultate, vorausgesetzt, daſs constante Fehler des Instrumentes, namentlich der Dampfgläser, eliminirt sind, giebt den sichersten Maſsstab ihrer Zuverlässigkeit. Indem man nun das Mittel aus solchen Bestimmungen als die wirkliche

wahre Länge annimmt, so kann man aus demselben, wie aus einer Station, deren geographische Länge entschieden ist, den täglichen Gang der Uhr und den Uhrfehler für jene Epoche ableiten. Immerhin wird es dienlich seyn, nicht blofs *einen* Chronometer, sondern deren wenigstens *drei* zu haben, welche jedoch nahe von gleicher Güte seyn müssen. Wenn man diese täglich unter sich vergleicht, so giebt eine Veränderung ihres relativen Ganges bald die Zeit zu erkennen, zu welcher der absolute Gang des einen oder andern sich verändert hat. Ja man ist im Stande, sogar aus ihren Fehlern einen Schlufs auf die wahre Länge zu machen. Auf längeren Seereisen oder bei öftern Prüfungen derselben durch Monddistanzen wird man nämlich finden, dafs sie zwar durch die nämlichen unbekannten Einwirkungen in ungleichem Mafse afficirt werden, dafs aber, wenigstens bei vorzüglichen Uhren, ihre gleichzeitigen Fehler zu einander in einem ziemlich constanten Verhältnisse stehen, dergestalt, dafs die Abweichung der Uhr A von der wahren Länge ein gewisser aliquoter Theil derjenigen des Chronometers B ist, mithin, wenn x den Fehler von A bezeichnet, derjenige von $B = nx$ sey, wo n irgend eine ganze oder gebrochene, positive oder negative Zahl vorstellen mag. Der Unterschied ihrer Angaben oder $A - B$ ist also $= nx - x$ und daraus x oder die Correction von A zur Erhaltung der wahren Länge $= \frac{A - B}{n - 1}$. Mit der Anzahl der Chronometer und der genauern Kenntnifs ihrer relativen Abweichung oder der Gröfse n vermehrt sich die Brauchbarkeit dieser Methode, die auf jeden Fall dem blinden Ausziehen des arithmetischen Mittels derselben vorzuziehen ist.

Von der Anwendung der Chronometer in sehr grofser Anzahl, wie z. B. bei der Längenbestimmung von Falmouth und Madeira, ist bereits beim Artikel *Chronometer* die Rede gewesen. Hat man, wie dieses meistens der Fall ist, nur über eines oder nur wenige solcher Werkzeuge zu gebieten, so ist, zumal auf längern Seereisen, eine öftere Prüfung ihrer Angaben durch Monddistanzen unerläfslich. Unter solchen Umständen sind sie sowohl zur täglichen Ortsbestimmung, als auch zur Ausmittelung kleiner Längendifferenzen von wesentlichem Nutzen und dienen auch bei Küstenaufnahmen zur Festsetzung der Standpuncte des Be-

obachters, die durch die Schiffsrechnung allein minder zuverlässig zu erhalten sind[1]. *H.*

L a m p e.

Lampas; Lampe; *Lamp.* (Von λάμπω leuchten, glänzen, λαμπάς die Fackel, Leuchte.)

Der aus der griechischen in die neuern Sprachen übergegangene Ausdruck *Lampe* bezeichnet zunächst ein Werkzeug, vermittelst dessen durch Verbrennung eines geeigneten Stoffes Licht erzeugt werden soll. Bei weitem die meisten mit diesem Namen belegten Werkzeuge sind noch gegenwärtig für diesen Zweck bestimmt und nur einige wenige haben eine hiervon abweichende Bestimmung, die Construction aller aber ist auf mehrerlei physikalische Gesetze gegründet. Es ist daher erforderlich,

---

1 Man sehe noch über die verschiedenen Methoden zur Bestimmung der geographischen Länge: Bohnenberger's Anleitung zur geographischen Ortsbestimmung. 1795. S. 315 — 448. — J. J. Littrow's theoretische und practische Astronomie. 1821. 8. Bd. I. S. 199 — 210. und über Sonnen- und Mondfinsternisse, Sternbedeckungen. Bd. II. S. 253 — 316 — J. V. Wurm's practische Anleitung zur Parallaxenrechnung nebst Tafeln des Nonagesimus u. s. w. 1804. 8. — Delambre Astronomie théorique et pratique. 1814. 4. T. II. p. 323 — 443. — Bode Astronomisches Jahrbuch f. 1777, 1808, 1811, 1824. Daselbst Gerstner's Methode z. Berechnung d. geographischen Länge aus Fixsterubedeckungen. 1791, 92, 98. — Olbers Formeln. 1803. S. 196. — J. Monteiro da Rocha Mém. sur l'Astronom. pratique trad. du Portugais. 1808. 4. p. 30 — 120. — Ueber die Länge aus Monddistanzen: De Borda déscription et usage du Cercle à reflexion. — Mendoza Rios Recherches sur les solutions des principaux problèmes de l'Astronomie nautique, tirés des transact. philos. de Londres. 1797. 4. p. 37 — 72. — Monatliche Correspondenz z. Beförder. d. Erd- u. Himmelskunde. X. S. 140 und XII. 305. — Delambre Astronom. III. p. 613 — 639. sehr vollständig. — Bowditch the new american practical navigator. 5. Ed. 1821. 8. — Mehrere Aufsätze in der Correspond. astron. du Baron de Zach. VI. 339. Plana sur la méthode d'Elford. Ebendas. Horner sur la réduction des distances lunaires. p. 520. und T. VII. p. 159. Méthode courte et facile p. réduire les distances lun. av. des tables. M. V. M. (Maurice) VIII. p. 445. Girandi VII. p. 439 u. 509. IX. p. 329 u. 441. Bowditch nouv. méthode. X. 321. sur la méthode d'Elford. X. 449. Meoté XI. p. 260. Duhamel XI. p. 54. Schubert XII. p. 139. Horner XII. p. 242 et 296. Gueppratte XII. p. 458.

den Bau und die Bestimmungen der wichtigsten unter ihnen anzugeben und diejenigen Naturgesetze namhaft zu machen, welche bei ihnen mehr oder minder richtig in Anwendung gebracht worden sind. Nach ihren Bestimmungen lassen sich dieselben im Wesentlichen unter drei Classen ordnen, nämlich diejenigen, welche zum Leuchten, solche, die zum Zünden, und endlich die, welche zum Erwärmen dienen sollen. Als allgemeines Princip bei der ersten Classe kann die Aufgabe betrachtet werden, durch geeignete Verbrennung der hierzu tauglichen Brennmaterialien ein genugsam erhellendes und den Augen dabei am wenigsten empfindliches Licht zu erzeugen, bei der zweiten hinlänglich schnell und mit Sicherheit eine Entzündung, den Ausbruch einer Flamme, zu bewirken, bei der dritten endlich eine Flamme, unabgesehen auf den Grad ihrer Erleuchtung, zur Hervorbringung einer längere Zeit dauernden, gleichmäfsigen, entweder geringern oder auch gröfsern Hitze zu benutzen, bei allen aber pflegt das Streben zugleich dahin gerichtet zu seyn, dafs die gewünschten Zwecke mit dem geringsten Kostenaufwande möglichst vollständig erreicht werden. Hieraus ergiebt sich leicht, dafs namentlich bei der ersten und dritten Classe von Lampen die Theorie des Verbrennens, hauptsachlich mit Flamme, und der Erzeugung des Lichtes oder der Wärme hierdurch zum Grunde liege. Indem diese aber in der nöthigen Vollständigkeit in den Artikeln *Licht, Verbrennen* und *Wärme* gegeben wird, hier dagegen nicht mangelhaft anticipirt werden kann, so ist es am besten, von aller Theorie zu abstrahiren und diese auf die genannten Artikel zu verweisen, dagegen vorläufig nur den Bau nebst dem Mechanismus und den durch Erfahrung gefundenen Effect der verschiedenartig construirten Lampen anzugeben.

I. Lampen zum Beleuchten.

Es würde zweckwidrig seyn, eine Beschreibung der zahlreichen Lampenarten, deren man sich überall zur Beleuchtung bedient, mitzutheilen, und es verdient daher nur das Hauptsächlichste ihrer Construction und Wirkungsart erwähnt zu werden, nämlich was sich auf ihren Bau, die Art der Zuführung des Brennmaterials nebst dessen Zersetzung und auf die

Stärke und Modification des durch sie verbreiteten Lichtes bezieht [1].

A. In Beziehung auf die Construction, namentlich der Oelbehälter, und die Regulirung des Zuflusses von Oel sind die nach pneumatischen Grundsätzen gebauten Lampen mit einem sich selbst regulirenden Oelbehälter (Lampes à clepsydre, *Fauntain-lamps*) am bekanntesten geworden. Die erste und am allgemeinsten angewandte Erfindung dieser Art ist von Rob. Boyle[2], nämlich die gewöhnlich aus Zinn verfertigten Lampen mit einem aufrechtstehenden, gläsernen, mit seiner nach unten gekehrten Mündung in das Oel getauchten Gefäfse, aus welchem das Oel nicht abfliefsen kann, wenn nicht das Niveau dieser Flüssigkeit durch allmäliges Verbrennen derselben so tief herabsinkt, dafs Luft an die Stelle des ausfliefsenden Oeles tritt. Es befindet sich aufserdem an dem Oelgefäfse eine Scale, welche so eingetheilt ist, dafs eine Abtheilung gerade so viel Oel giebt, als bei nöthiger Erhellung für eine Stunde ausreicht. Hiernach sind solche Lampen nicht blofs von constantem Niveau des Oeles, sondern sie geben, wie die Wasseruhren, zugleich die Zeitdauer des Brennens an, beides jedoch entweder sehr mangelhaft oder gar nicht. Dafs nämlich die Zeitbestimmung unmöglich genau seyn könne, ergiebt sich bald, wenn man berücksichtigt, mit wie geringer Sicherheit sich die Gröfse der Flamme, die vollständige oder unvollständige Zersetzung des Oeles und die ganze Summe der vielen Bedingungen des Verbrennens desselben reguliren lasse. Aber auch die Unveränderlichkeit des Oelniveaus kann auf diese Weise nicht mit Sicherheit erhalten werden. Das gläserne Oelgefäfs wird nämlich zwar allezeit in einiger Entfernung von der Lichtflamme angebracht, allein dennoch können erhöhte Temperatur der in demselben zugleich mit eingeschlossenen Luft und verminderter Barometerdruck eine Ausdehnung dieser letztern bewirken, so dafs das Oel ausläuft und die Umgebungen beschmutzt; wenigstens hat Hooke diesen Einwurf dagegen vorgebracht, abgerechnet, dafs ihre Form nicht eben geschmackvoll ist.

---

1 Da alles, was zur Gasbeleuchtung gehört, bereits in einem eignen Artikel Th. IV. S. 1078 ff. abgehandelt worden ist, so wird dieses hier ganz übergangen.

2 Hooke's Philos. Tracts and Collections. Lond. 1679. 4. Nr. 2. p. 33.

Hooke[1] wurde hierdurch veranlaſst, verschiedene Arten Lampen mit unveränderlichem Niveau zu construiren. Eine der bekanntesten hiervon bestand aus einem halbkugelförmigen Oelgefäſse, mit einer Röhre zum Halten des Dochtes und einem Schwimmer, welcher niedergesunken jenes Gefäſs genau ausfüllte und um eine horizontale Axe frei oscilliren konnte. Das Gewicht des letztern war genau halb so schwer, als das des Oeles in dem festen Gefäſse, und er sank daher tiefer ein, wenn mehr Oel verzehrt wurde, indem allezeit der hervorragende Theil desselben dem eingetauchten gleich war und seine Beweglichkeit das Oel auf gleichem Niveau erhielt. Inzwischen fand diese Lampe mit dem offenen Oelgefäſse weit weniger Beifall, als die durch Keir[2] aus Kentish-Town erfundene, auf welche er ein Patent erhielt und deren Vorzüge immerhin von der Art sind, daſs sie hier eine Beschreibung verdient.

Fig. 1.

Sie besteht aus einem säulenförmigen Körper von beliebiger Gestalt, in welchem mehr nach oben das weite Gefäſs A A angebracht ist, mit einer bis nahe über dem Boden des untersten Behälters B B herabgehenden engen Röhre F C. Der untere Behälter B B ist zur Aufnahme des Oeles bestimmt und aus ihm geht die Röhre G D E in die Höhe, welche oben erweitert und so eingerichtet ist, daſs sie zur Aufnahme eines runden oder bandförmigen oder auch argandschen Dochtes nach Belieben dienen kann. Der ganze weitere Mechanismus dieser hydrostatischen Lampe ergiebt sich leicht. Man gieſst nämlich zuerst in die Röhre E eine erforderliche Menge Salzwasser und dann das zur Ernährung der Flamme bestimmte Oel. So wie letzteres das untere Gefäſs B B füllt, steigt das Wasser durch die Mündung der Röhre C in die Höhe und sammelt sich im Behälter A A, aus welchem es bei der allmäligen Abnahme des Oels wieder herabsinkt und wegen der beträchtlichen Weite desselben den Stand des Oeles bei E nahe genau stets gleichmäſsig erhält. Solche Lampen können mit einem Schirme versehen und sonst nach Gefallen eingerichtet werden.

---

1 A. a. O. Vergl. Birch Hist. of the Royal Soc. II. 155. und G. VI. 96.

2 Nicholson's Journ. T. III. p. 467. Daraus in G. VI. 98. Repertory of Arts cet. VIII. 289. Bibl. Brit. XIV. 75.

Diese auf das Princip des hydrostatischen Druckes gegründete Lampe scheint mir reinlicher und bequemer, als eine andere, welche von Vieth[1] dem Heronsbrunnen nachgebildet ist und gleichfalls hier kurz beschrieben werden möge, da die Aufgabe, während einer geraumen Zeit das Oel auf genau gleicher Höhe zu erhalten, namentlich bei den Lampen der Leuchtthürme, leicht vorkommen kann, weswegen es dann vortheilhaft ist, aus den verschiedenen schon gemachten Vorschlägen das Beste zu wählen. Die von Vieth angegebene, im verticalen Durchschnitte abgebildete Lampe hat als wesentlichen Theil das in der Mitte durch eine Wand in zwei Hälften getheilte Gefäfs A D, wovon die eine Hälfte D das Brennölgefäfs, die andere A dagegen das Druckölgefäfs bildet. Ersteres ist von allen Seiten geschlossen, luftdicht, und hat blofs bei m eine Oeffnung zum Eingiefsen des Oeles, worauf dann diese vermittelst eines Korkes oder irgend eines luftdicht schliefsenden Stopfers wieder verschlossen wird. Die andere Hälfte des Cylinders A besteht aus einem offenen Gefäfse, in welches das nur wenig kleinere N, ringsum verschlossen und nur im Boden mit einem Ventile versehen, mit Leichtigkeit herabgelassen werden kann. Füllt man letzteres mit dem Drucköle und läfst es umgekehrt vermittelst des Knopfes b herab, so öffnet der Stift bei h das Ventil und es läuft so lange Oel aus, bis der aerostatische Druck der Luft dieses hindert. Das ausfliefsende Oel sinkt durch die Röhre E in das im Fufsgestelle befindliche Gefäfs C L, welches gleichfalls allseitig luftdicht verschlossen ist, drückt die darin befindliche Luft der Höhe seines Falles proportional zusammen, zwingt sie dadurch in der Röhre F aufzusteigen und das Gefäfs D anzufüllen, wo sie auf das darin enthaltene Brennöl drückt und dieses in der Röhre kg zum Dochte aufsteigen macht. Man giefst demnächst das Drucköl aus einer über dem Boden des Gefäfses CL angebrachten Oeffnung wieder aus und füllt das Gefäfs N abermals damit; man könnte auch eine andere Flüssigkeit statt dessen nehmen, allein Vieth giebt jener den Vorzug, auch ist es besser, das Drucköl stets zu diesem Behufe wieder anzuwenden und nicht mit dem Brennöle zu vermengen, weil es durch das von den Dochten herabfliefsende bräunliche Oel verunreinigt wird. Die Lampe kann einen bandförmigen oder cylinderförmi-

Fig. 2.

---

1 G. LIX. 37.

gen Docht erhalten, mit einem Lichtschirme, gläsernem Cylinder, einem Mechanismus zum Höherstellen des Dochtes versehen und füglich auch für doppelten Luftzug, ja sogar auch für mehrere concentrische Dochte eingerichtet, endlich aber auf mannigfaltige Weise verziert werden, wie sich dieses alles von selbst versteht. Bei dem nahe gleichen specifischen Gewichte des Brennöles und des Drucköles müssen die Fallröhre E und die Steigröhre kg gleiche Länge haben, die in der Mitte befindlichen Gefäfse beider kommen daher tiefer herab und die Lampe giebt weniger Schatten, als die von Keir in Vorschlag gebrachte, übertrifft aber in dieser Hinsicht die gewöhnlichen, mit einem seitwärts befindlichen Oelgefäfse versehenen bei weitem, fällt auch wegen der Lage ihres Schwerpunctes ungleich weniger leicht um, als diese. Einen entschiedenen Vorzug erhält sie jedoch dadurch, dafs bei ihr das Oel am Dochte stets gleich hoch steht, welches insbesondere noch durch die untere und obere Umbiegung der Röhren E und F erreicht wird, insofern durch diese den eingeschlossenen Oelsäulen eine unveränderliche Grenze gegeben wird.

Es ist bei der bekannten Wahrheitsliebe Vieth's wohl nicht zu bezweifeln, dafs er die eben angegebene Lampe nach dem ohnehin bekannten Principe des Heronsbrunnens construirt habe, ohne von einer andern in Kenntnifs gesetzt zu seyn, welche die Herren Girard schon früher bekannt gemacht hatten [1] und die der Natur der Sache nach nicht wesentlich von dieser verschieden seyn kann. Diese Lampe hat nämlich statt eines getheilten oberen Gefäfses drei über einander befindliche, wovon das unterste, wie bei jener, im Fufse angebracht ist. Das Gefäfs SS enthält das Drucköl, in EE befindet sich das Brennöl und in BB Luft; alle drei aber sind luftdicht verschlossen, wenn das Oel in die beiden oberen Gefäfse eingefüllt ist. Durch den Abflufs des Drucköls aus dem Gefäfse SS in das am Boden befindliche wird die Luft in letzterem comprimirt, entweicht durch die oben krummgebogene Röhre CC in das mit dem Brennöle gefüllte oberste Gefäfs EE, drückt gegen das Oel und treibt es in der Röhre I so in die Höhe, dafs es in dem oberen Theile von dieser sein Niveau unverändert beibehält, indem es genau

Fig. 3.

1 Annales des Arts et Manuf. T. XX und XXXVII. Vergl. Encyclop. méth. Partie Phys. T. III. p. 634.

so hoch steigt, als das Drucköl, mit Rücksicht auf das specifische Gewicht beider, herabdrückt. Um hierbei die Veränderlichkeit des Niveau's im oberen Gefäfse zu corrigiren, hat Girard den nämlichen Mechanismus angewandt, als Vieth, indem die Röhre CC gleichfalls von oben herab wieder umgebogen ist, damit der Druck der Luft in dem kürzeren Schenkel eine gleich hohe Säule Oel herabdrücken mufs, als diejenige ist, um welche die Säule in der Röhre I bei vollem Gefäfse kürzer ist; so wie aber das Oel im Gefäfse EE abnimmt, wird die Säule in der Röhre I um ebensoviel länger, als die im kürzeren Schenkel der Röhre CC abnimmt. Um aber die Länge der Säule des Drucköles stets gleich zu erhalten, ist das untere Ende der hierfür bestimmten Röhre A in einen engen Cylinder R gesenkt, so dafs das Höhersteigen des Drucköles im unteren Gefäfse von keinem Einflusse ist, was Vieth übrigens durch Umbiegen des unteren Endes dieser Röhre auf eine noch leichtere Weise erreicht hat. Damit aber endlich die veränderliche Höhe des Drucköles im Gefäfse SS keinen Einflufs haben möge, ist die Röhre G bis auf den Boden desselben herabgeführt, durch welche allein atmosphärische Luft eindringen kann, die aber zugleich den Gegendruck der in dieser Röhre aufsteigenden Säule des Drucköles überwinden mufs [1].

Für Lampen, wie sie im gewöhnlichen Gebrauche sind, scheint mir ein Mechanismus der genannten Art unnöthig, um so mehr, als er mit der einfachen schlanken Gestalt der schöneren Säulenlampen nicht wohl verträglich ist und diese ohnehin einen grofsen Vorrath von Oel gar nicht bedürfen. Ein Vortheil ist jedoch bei diesen Constructionen nicht zu übersehen, nämlich dafs solche Lampen, auch wenn sie in geneigter und selbst bis zur horizontalen Lage getragen werden, das Oel nicht auslaufen lassen, weil die Richtung des Drucköles und des zum Dochte aufsteigenden durch Umkehren der Lampe umgekehrt wird. Für Lampen mit sehr grofsen Dochten, welche für Leuchtthürme oder zur Erhellung sehr ausgedehnter Räume bestimmt sind und daher eine bedeutende Menge Oel verzehren, kann der vorgeschlagene Mechanismus allerdings vortheilhaft seyn. Es verdient übrigens kaum erinnert zu werden, dafs das Rohr mit

---

1 Eine weitere Erläuterung dieses Gesetzes s. Art. *Aerostatik*. Th. I. S. 259.

dem aufsteigenden Oele zu einem oder zu beliebig vielen argandschen Dochten führen kann. Bei einer wirklichen Anwendung scheint es mir jedoch, wenn auch blofs der Reinlichkeit wegen, angemessener, zu der drückenden Flüssigkeit Wasser zu nehmen, als Oel.

Noch eine statische Lampe, welche v. Edelkranz[1] angegeben hat, scheint mir weniger empfehlenswerth. Weil sie jedoch den Vortheil gewährt, dafs sie kein Umfüllen der drückenden Flüssigkeit erfordert und daher in denjenigen Fällen nützlich werden könnte, wo es nicht erforderlich ist, sie von einem Orte zum andern zu tragen, was sie nicht gut gestattet, so möge auch diese hier kurz beschrieben werden.

Der untere Theil der Lampe besteht aus einem cylindrischen Gefäfse a e e a, in welchem der etwas niedrigere Cylinder f c c f so in die Höhe steht, dafs der Zwischenraum zwischen beiden nur etwa 0,75 bis höchstens 1 Zoll beträgt, in welchen das aus Blech verfertigte hohle cylindrische Gefäfs d b b d frei beweglich so herabgesenkt werden kann, dafs die beiden Ebenen c c und b b einander berühren, wenn der Rand d d unten auf dem Boden der Vertiefung e f, e f ruht. Auf dem Gefäfse d b b d ist die Röhre k k aufgerichtet, an welche die Verlängerung i t t i mit dem argandschen Dochte und dem nicht mitgezeichneten Mechanismus zum Höherstellen desselben angeschraubt wird. In der weiteren Röhre k k ist eine andere engere l l mit parallelen Wandungen befestigt, in welcher der unten bei g festgeschraubte Metallstab g h frei beweglich ist, so dafs das Gefäfs d b b d sich auf- und abwärts bewegen kann, bis es entweder auf c c ruht, oder der Rand der Schraube h eine höhere Erhebung der Röhre l l hindert. Die verjüngte Säule y x x y endlich dient theils zur Verschönerung, theils zur Vermehrung des Gewichts und der Vorsprung q q zum Aufnehmen des etwa herablaufenden Oeles.

Fig. 4.

Soll die Lampe gebraucht werden und ist zu diesem Ende nach Wegnahme des verjüngten Cylinders y x x y der Docht in Stand gesetzt, so wird in den Zwischenraum des unteren Gefäfses Quecksilber bis etwa zur Höhe m m gegossen, welches jedoch nicht hindert, dafs die Flächen b b und c c in Berührung

1 Französische Annalen u. s. w. von Pfaff und Friedländer. Bd. III. S. 32.

bleiben, da die eingeschlossene Luft durch die Röhre ll u. s. w. entweicht. Ist dann die verjüngte Säule yxxy wieder aufgesetzt, so giefst man durch irgend einen oben bei t leicht anzubringenden geeigneten Canal Oel ein, welches den Zwischenraum zwischen bb und cc anfüllt, wegen des sperrenden Quecksilbers bei dd aber nicht entweichen kann, dagegen den oberen Theil der Lampe so weit heben wird, als die Schraube h gestattet. Ist dann in genähertem Werthe das Verhältnifs des spec. Gewichtes von Quecksilber und Oel = 16 : 1, so wird die Höhe vom unteren Stande des Oeles oberhalb d bis an sein oberes Niveau nahe an der Grenze des Dochtes, ungefähr in der Höhe von x, 16mal die Höhe des Quecksilbers von seiner Berührungsgrenze mit dem Oele bis zum äufseren Niveau unterhalb a betragen müssen. Das Verhältnifs dieser Höhen bleibt unverändert, indem der Rand dd des oberen Gefäfses bei fortdauernder Consumtion des Oeles tiefer einsinkt, die lothrechte Höhe des Quecksilbers aber, wegen des hydrostatischen Gleichgewichts beider Flüssigkeiten, in dem nämlichen Verhältnisse abnimmt, als die des Oeles; die unbedeutende Differenz, welche rücksichtlich des statischen Verhaltens aus dem tieferen Einsinken des unteren Randes dd in das Sperrquecksilber hervorgeht, ist zu unbedeutend, als dafs sie einer Correction bedürfen sollte. Endlich ist schon angedeutet, dafs man nach geschehener Consumtion des Oeles nur dieses nachzugiefsen nöthig hat, damit das obere Gefäfs sich abermals hebt und die früheren Bedingungen wieder eintreten, ein neuer Docht aber wird auf die bekannte Weise, wie bei andern Lampen, eingesetzt, ohne dafs es nöthig ist, die Theile derselben wieder aus einander zu nehmen.

Die so eben beschriebene Lampe hat die Eigenthümlichkeit, dafs das brennende Ende des Dochtes und die Flamme so tief herabsinkt, als das untere Gefäfs sich tiefer herabsenkt. Befindet sich die Flamme im Brennpuncte einer Reverbere, so könnte dieses von nachtheiligem Einflusse seyn, ein Umstand, welcher gerade bei diesen, zunächst nur zur Erleuchtung grofser Räume auf Leuchtthürmen u. s. w. geeigneten Lampen nicht übersehen werden darf. Kommt derselbe nicht in Betrachtung, so ist es leicht, ohne solche künstliche Vorrichtungen, als die so eben beschriebenen sind, und blofs vermittelst eines schwimmenden Hebers das Oel stets in gleicher Entfernung vom brennenden

Ende des Dochtes zu erhalten. Wie solche Vorrichtungen im Allgemeinen beschaffen seyn müssen, ist bereits oben[1] gezeigt worden; neuerdings aber hat LAURENCE DAVIDSON[2] ähnliche Vorrichtungen bekannt gemacht und eine hiernach construirte Lampe vorgeschlagen, welche jedoch schwerlich in Gebrauch kommen wird. Sie besteht bloſs aus einem solchen schwimmenden Heber, dessen nicht in das Oel getauchtes Ende wieder in die Höhe gebogen und mit einem an der Mündung brennenden Dochte versehen ist.

Es scheint mir überflüssig, noch mehrere Constructionen der Lampen hier mitzutheilen, wenn auch einige derselben zur Zeit ihrer Erfindung beifällig aufgenommen wurden. Ohnehin ist die Technik so weit vorgerückt, daſs die einmal aufgefundenen richtigen physikalischen Gesetze leicht und bald in Anwendung kommen. Bloſs erwähnt werden mögen daher nur noch die durch GOTTEN erfundenen Lampen mit einem Mechanismus, um das Oelgefäſs höher und niedriger zu stellen (à niveau intermittent)[3], ferner die früher gebräuchlichen Lampen mit einem Pumpwerke, um das Oel aus dem Behälter im Fuſse bis zur Höhe des Dochtes hinaufzutreiben. CARCEL und CARREAU haben diesen Mechanismus künstlicher eingerichtet und GUYTON-MORVEAU hat auſser ihrer äuſseren gefälligen Form auch ihre Kraft, zu erleuchten, ohne Zweifel höher angegeben, als sich diese in der Wirklichkeit zeigt, auſserdem erfordern sie eine vorsichtige Behandlung, weil sonst das in zu groſser Menge heraufgepumpte Oel überläuft, und endlich ist der Mechanismus selbst zu wenig dauerhaft, weswegen sie andern einfacheren Vorrichtungen weichen muſsten und jetzt nur sehr selten gefunden werden[4]. Mit Uebergehung der zahlreichen Patentlampen, bei denen gröſstentheils nur auſserwesentliche Verbesserungen aus kaufmännischem Interesse angebracht wurden, können noch die durch VILLIERS und andere angegebenen Nachtlampen genannt werden, welche dazu bestimmt sind, das ohnehin nicht

---

1 S. Art. *Heber*. Th. V. S. 127. Fig. 45.

2 Edinb. New Phil. Journ. XI. p. 96.

3 GILLET-LAUMONT in Ann. des Arts et Manufactures. XLVI. 296.

4 S. Encyclop. méthod. Part. Phys. T. III. p. 636. Ann. de Chim. XXXVIII. p. 135.

zu billigende Lesen im Bette ohne Feuersgefahr zu erleichtern[1]. March und Boswell endlich erfanden Lampen, auf welchen statt des Oeles vielmehr Talg gebrannt wurde[2]. Da es unmöglich ist, sie reinlich zu erhalten und die Menge des durch die Lichtflamme zugleich geschmolzenen Talges gehörig zu reguliren, so sind sie nie eigentlich in Gebrauch gekommen.

B. Die Gestalt und Beschaffenheit der *Dochte* hat ungleich weniger Vorschläge veranlafst. Am einfachsten und von den ältesten Zeiten her am längsten in Gebrauch war nämlich die Anwendung runder, aus einzelnen zusammengelegten Fäden bestehender Dochte, welche in ihren haarröhrchenartigen Zwischenräumen das flüssige Fett aufsteigen machen und in angemessener Menge der Flamme zuführen, um durch deren Hitze in diejenigen gasförmigen Substanzen zerlegt zu werden, welche das Brennen und Leuchten unterhalten. Jenes Aufsteigen findet leicht in allen lockern Körpern statt und lose zusammengedrehte Baumwolle ist daher am meisten geeignet, statt deren man jedoch auch andere ähnliche vegetabilische Stoffe, sogar auch Asbest und selbst feine Glas- oder Metallröhrchen anwenden kann[3]. Eine Hauptsache dabei ist, dafs die Dochte sich nicht verstopfen und dadurch das Aufsteigen des Oeles hindern, zu welchem Ende und um ihnen zugleich mehr Steifheit zu geben man dieselben vor dem Gebrauche in einer Mischung von Wachs, Talg, Wallrath u. s. w. zu tränken pflegt, damit Staub und Schmutz weniger leicht eindringen, aufserdem aber geschieht dieses hauptsächlich bei den bandförmigen deswegen, damit sie ihre Form beibehalten. Das Verstopfen der Dochte wird so viel weniger statt finden, je reiner die verbrennende Fettigkeit ist; inzwischen setzt das Oel, dessen man sich bei weitem am häufigsten zur Erzeugung des Lampenlichtes bedient, selbst das gereinigte, allmälig an der Stelle, wo die Flamme genährt wird, eine gewisse Menge nicht verflüchtigten Kohlenstoffes als eine erhärtete Masse ab und macht es nothwendig, diese nebst einem

---

1 Journ. de Phys. XXVIII. 54. Daraus in Lichtenb. Mag. IV. St. 2. S. 74. Vergl. Journ. de Phys. XI. 56.

2 Nicholson's Journ. IX. p. 105. Daraus in G. LVI. 71.

3 Die von Gordon aus feinen Platin- oder Eisendrähten verfertigten Dochte scheinen nicht sehr in Gebrauch gekommen zu seyn. S. Ann. Trans. of Arts etc. T. XI. N. 9. p. 433.

Theile des verzehrten Dochtes wegzunehmen, weswegen die unzerstörbaren Substanzen sich weniger zu Dochten eignen, als die vegetabilischen.

Das Leuchten des Lampenlichtes beruht hauptsächlich darauf, dafs die verbrennenden Fettigkeiten in kohlenstoffhaltiges Wasserstoffgas zersetzt werden[1], welches sich mit dem Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft verbindet. Indem letzteres aber nur mit der Oberfläche der vom Dochte aufsteigenden inflammabeln Gasart in Berührung kommen kann, so mufs verhältnifsmäfsig so viel weniger Sauerstoffgas zugeführt werden, je dicker die Flamme und der sie erzeugende Docht ist. Alströmer[2] verbesserte diesen Mangel, indem er die Dochte bandförmig flach machte, so dafs auch bei dem Erfordernisse einer gröfseren Flamme diese dem Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft eine beträchtlich grofse Oberfläche darbieten. Noch glücklicher war der Gedanke des Bürgers Argand in Genf, die bandförmigen Dochte zu einem hohlen Cylinder zu vereinigen. Es wird hierdurch zwar direct nicht mehr erreicht, als was Alströmer's Dochte leisten, denn bei beiden tritt die atmosphärische Luft an beiden Seiten des flachen Dochtes mit der Flamme in Berührung; allein theils müfsten bei starken Lampen die Dochte zu sehr in die Breite gezogen werden, statt dafs die wieder hervorgebrachte Cylinderform die Flamme concentrirt und dadurch verstärkt, theils gestattet Argand's Construction ungleich besser die Erzeugung eines starken Luftzugs zur bessern Ernährung der Flamme. Auf dem Grunde ihrer Vortrefflichkeit beruht dann auch der Umstand, dafs sich diese Construction so lange erhalten hat, wie vielfach auch seitdem die Form der Lampen selbst verändert worden ist, und Rumford, welcher sich später am meisten mit diesem Gegenstande beschäftigte, erklärte bestimmt, dafs nach seinem Urtheile hierdurch die vollendetste Construction der Dochte erreicht worden sey, welche sonach keiner weitern Verbesserung fähig schienen[3].

---

1 Vergl. Art. *Verbrennen, mit Flamme.*

2 Neue Schwed. Abhandl. 1784. Nr. 22.

3 Die Regeln, welche Smithson in Ann. of Phil. N. Ser. T. IV. p. 363. über Form und Behandlung der Dochte giebt, enthalten nichts neues und sind von keinem bedeutenden Werthe. Rumford's Vorschriften s. unter C.

Es war im Jahre 1783, als Argand über die von ihm neu erfundenen Lampen in England ein Patent erhielt [1] und die Rechte seiner Erfindung gegen Quinquet und Andere vertheidigte [2], allein schon Franklin soll die hohlen Dochte zur Erzeugung eines helleren Lichtes angewandt haben [3], wenn nicht schon früher Le Monnier. Auch Meusnier bediente sich ähnlicher Dochte und eines blechenen Schornsteins zur Erzeugung stärkerer Hitze für chemische Arbeiten [4]. Gleich nach der Bekanntwerdung der Argandschen Lampen wurden von vielen Seiten Vorschläge gethan, sie zu verbessern, namentlich durch L'Ange, den Glascylinder etwas zu verengen, um die Luft näher an die Flamme zu bringen, und von Carcel und Carreau, den Docht durch eine Schraube höher und niedriger zu stellen, welche wohl die wesentlichsten sind [5]. Argand's Patent in England war fast von gar keinem Nutzen, weil Andere aufserwesentliche Veränderungen anbrachten und dadurch seine Rechte umgingen. Später suchte er in Frankreich um ein Patent nach und erhielt dieses auf 15 Jahre; allein hiergegen protestirte L'Ange, welcher bereits seit längerer Zeit ähnliche Lampen, die er à double courant nannte und denen er geschmackvolle Formen zu geben wufste, verfertigt hatte. Es wurde beiden demnächst ein gemeinschaftliches Privilegium ertheilt, jedoch erhielt sich der Name *Argandsche Lampen* bis auf die neuesten Zeiten [6].

Blofs des geschichtlichen Interesses wegen möge hier noch etwas von den zahlreichen Untersuchungen erwähnt werden, welche man in frühern Zeiten den sogenannten *ewigen Lampen* und ihren unverbrennlichen Dochten gewidmet hat. In Aegypten soll ein fortdauerndes Lampenlicht als Sinnbild des ewigen Lebens und der Unsterblichkeit angesehen worden seyn, weswegen viele Zeugnisse der Alten über die sogenannten ewigen Lampen in Tempeln und Gräbern vorhanden sind. Es ist wohl natürlich, dafs hierunter keine andern, als unausgesetzt brennende,

1 Journ. de Phys. 1784. Fevr.

2 Journ. de Par. 1785. Janv.

3 Montucla Hist. des Math. III. p. 564.

4 Vergl. Ann. de Chim. XXV.

5 Vergl. Voigt Mag. III. p. 418.

6 G. LVI. 391 ff.

stets unterhaltene Lampen, wie sie noch jetzt in vielen Kirchen gefunden werden, ähnlich dem Feuer auf dem Altare der Vesta, verstanden werden können, allein man machte ewige Lampen im eigentlichen Sinne des Wortes daraus, das heifst solche, bei denen weder das Brennmaterial, noch auch der Docht verzehrt wurde. Insbesondere wollte man beim Oeffnen alter römischer Gräber solche Lampen noch brennend getroffen haben, doch sollten sie beim Zutritte der äufsern Luft sofort erloschen seyn.

Mufs man den vorhandenen Zeugnissen nach annehmen, dafs beim Oeffnen der Gräber ein Lichtschein gesehen wurde, so liefse sich dieses aus dem durch Zersetzung der Leichname erzeugten und beim Zutritte der äufsern Luft entzündeten Phosphor-Wasserstoffgas erklären, in den meisten Fällen mag jedoch das Auffinden der Lampen in den Gräbern, welche daselbst in Menge gefunden worden sind, und der Hang zum Wunderbaren die nächste oder einzige Veranlassung der Nachrichten seyn, dafs man diese noch brennend getroffen habe. Die ungleich schwierigere Frage, durch welche Mittel die für viele Jahrhunderte ausreichende Menge des Brennmaterials den Lampen zugeführt worden sey, wurde dann weit weniger untersucht, als vielmehr die über unzerstörbare Dochte. Es läfst sich dieses daraus erklären, dafs man im unverbrennlichen, flachsartigen Asbeste (Amianthe) den merkwürdigen Körper gefunden zu haben glaubte, welcher unzerstörbare Dochte zu liefern vermöge, womit also die erste Schwierigkeit anscheinend gehoben zu seyn schien, und die meisten Untersuchungen bezogen sich daher zum Theil oder hauptsächlich auf die Beschreibung dieser wunderbar scheinenden Substanz[1], in welcher namentlich der Principe di Salerno den Stoff für die Dochte der in Gräbern aufgefundenen ewigen Lampen entdeckt zu haben glaubte[2].

Es ist wohl nicht zweifelhaft, dafs man ehemals Amianth zu den Dochten, namentlich in den Gräbern, genommen und dafs man dabei die Unverbrennlichkeit dieses lockern Körpers

1 Fortunii Liceti Lucernae antiquorum reconditae. Udinae 1632. Joannis Ciampini Romani de incombustibili lino etc. Romae 1691. F. E. Bruchmanni Historia naturalis curiosa etc. Bruns. 1727. Kircheri Mundus subterr. T. II. p. 67. Hofmanni Lex. univ. Contin. Bas. 1683. T. I. p. 1042.

2 Acta Erud. Lips. 1754. p. 82.

als ein Mittel seiner unvergänglichen Dauer betrachtet habe, allein die Vergänglichkeit der gewöhnlichen Dochte liegt nicht sowohl in einem Verbrennen derselben, als vielmehr darin, dafs sich aus dem nicht verflüchtigten Kohlenstoffe des verbrennenden Fettes eine feste Kohle bildet, welche zu wenig porös ist, um das Oel in sich aufsteigen zu machen, und daher weggenommen werden mufs, wenn die Flamme nicht erlöschen soll. Eine solche erzeugt sich aber auf gleiche Weise auch am asbestnen Dochte, was, schon an sich nothwendig, durch eigene Versuche des Dr. Schäffer bewiesen worden ist[1].

C. Bei weitem am meisten waren die Bemühungen derjenigen, welche die zahlreichen Vorschläge zur Verbesserung der Lampen gethan haben, darauf gerichtet, das Licht derselben entweder zu verstärken, um durch erhöhte Leuchtkraft einen gröfsern Nutzen zu erreichen, oder dasselbe nicht sowohl zu schwächen, als vielmehr seinen Reiz auf das Auge zu vermindern. Handelt es sich hierbei vom Leuchten der Flamme und ihrer Helligkeit im Allgemeinen, so hängt diese vorzüglich von der verbrennenden Substanz ab, was aber hier nicht im ganzen Umfange zur Untersuchung kommen kann[2], indem das Brennmaterial der Lampen in der Regel aus vegetabilischem Oele, seltener aus Fischthran und aus thierischem Fette besteht, die meisten Vorschläge sich aber auf gemeines Oel beziehen, welches allerdings heller und besser brennt, wenn es alt oder künstlich geläutert ist.

Hauptsächlich hat man sich vielfach bemüht, bequeme und pafsliche Studirlampen zu erhalten. Man fand nämlich bald, dafs das Flackern der Unschlitt- und selbst auch der Wachslichter das Auge beim Lesen sehr angreift und daher die ruhig brennende Flamme der Lampen zum Studiren weit geeigneter ist. Weil aber aufserdem die reizbaren Augen derjenigen, welche lange anhaltend insbesondere kleine Schrift bei Kerzenlichte lesen, durch den hellen Schein der Flamme leicht unangenehm afficirt werden, so kam man auf den nahe liegenden Gedanken, diese durch einen Schirm zu bedecken, das Auge hierdurch gegen den unmittelbaren Eindruck des von der Flamme ausstrahlenden Lichtes zu schützen und blofs die zu sehenden Gegen-

1 S. dessen sämmtliche Papier-Versuche. Bd. III. S. 9.

2 S. Art. *Verbrennen, mit Flamme.*

stände hinlänglich, aber nur mäfsig zu beleuchten. Hieraus gingen die aufserordentlich vielen Vorschläge zu den sogenannten Studirlampen hervor, welche insgesammt aus verschieden construirten Lampen mit undurchsichtigen, meistens aus Blech verfertigten Schirmen bestehen. Alle diese oder auch nur einige derselben einzeln zu beschreiben hat zu geringes Interesse, da das allgemeine Princip, welches in den verschiedensten Formen leicht dargestellt werden kann, allgemein bekannt ist. Eine grofse Menge angeblicher Verbesserungen verdankten übrigens ihren Ursprung dem kaufmännischen Speculationsgeiste, indem Künstler und Fabricanten ihrer Waare durch Lobpreisungen Absatz zu verschaffen suchten.

Am bekanntesten unter den sogenannten Studirlampen ist die durch Joh. Andr. Segner angegebene geworden, eine gemeine Lampe mit einem vierkantigen blechenen Schirme, welcher fast das ganze Zimmer verdunkelt und blofs den Tisch, worauf sie steht, stark erleuchtet [1]. Sie hat aufser ihrer Wohlfeilheit keine weitern Vorzüge und ist daher als sehr unansehnlich aufser Gebrauch gekommen. A. E. Götze gab eine Studirlampe an, welche geschmackvoller eingerichtet und mit einem bandförmigen Dochte versehen war [2]. Aufser vielen, namentlich im Reichsanzeiger bekannt gemachten Vorschlägen zur Verbesserung der Studirlampen und den durch Hofmann in Leipzig angegebenen [3] verdienen etwa nur noch die durch Seidler in Nordhausen empfohlenen Schirmlampen erwähnt zu werden, welche sich durch geschmackvolle Form, schönen Lack, bandförmigen Docht und runden Schirm auszeichnen [4] und neuerdings am meisten in Gebrauch gekommen sind.

Die von Argand erfundenen Lampen werden auch Lampen mit doppeltem Zuge genannt (Lampes à double courant). Der zu einem hohlen Cylinder zusammengebogene Docht nämlich wird mit einem gläsernen Schornsteine umgeben, und indem die Luft durch Einschnitte in das Innere der Säule Zutritt

1 Fabricii allg. Historie der Gelehrsamkeit. 1752. Bd. I. S. 225. Bd. III. S. 1037.

2 Natur, Menschenleben und Vorsehung u. s. w. Leipz. 1792. 2 Bde. 8.

3 Journal für Fabrik. 1801. Juli. S. 36.

4 Reichsanzeiger 1800. Nr. 45.

erhält, von hier aus aber sowohl im Innern des Dochtes, als auch zwischen der Aufsenseite der Flamme und den inneren Wänden des gläsernen Cylinders aufsteigt, und endlich ein Mechanismus angebracht ist, den Docht genau so hoch zu erheben, dafs die zuströmende Luft gerade hinreicht, alles aus dem Fette entbundene Leuchtgas vollständig zu verbrennen, so kann in dieser Hinsicht auch gesagt werden, dafs solche Lampen ökonomisch brennen, insofern das zersetzte Oel so viel Licht giebt, als aus demselben zu erhalten ist. Dabei versteht sich übrigens von selbst, dafs die Menge des verzehrten Brennmaterials der Intensität des erzeugten Lichtes in einem gewissen Grade proportional seyn mufs. Sollen ganze Zimmer durch Lampen erhellt werden, so entsteht ein bedeutendes Hindernifs durch den Schatten, welchen das Oelgefäfs verbreitet. Bei den Studirlampen fällt dieser Schatten mit demjenigen zusammen, welchen der Schirm erzeugen soll, allein diese sind zur Erleuchtung der Zimmer überhaupt nicht geeignet. Bildet das Fufsgestell der Lampe oder die Säule derselben das Oelgefäfs, so kommt dieses zu niedrig, als dafs das Oel im Dochte aufsteigen könnte, oder die Lampe wird unförmlich, wenn dieses Gefäfs zu hoch und dicht unter der Flamme ist. Seitwärts angebrachte Oelbehälter sind nichts weniger als zierend, obendrein noch deswegen, weil sie der Flamme nicht zu nahe stehen dürfen, damit das Oel nicht zu heifs werde. Bei den jetzt sehr gemeinen *Argandschen Säulenlampen* ist diese Unannehmlichkeit sehr gut dadurch vermieden, dafs das Oelgefäfs die Flamme als ein Kranz umgiebt, letztere aber hinlänglich lang ist, um sowohl über als auch unter diesem Kranze hin Strahlen zu senden, welche sich in einiger Entfernung von demselben durchkreuzen und dadurch seinen Schatten aufheben.

Die Argandschen Lampen haben an sich wegen der vollständigen und mit grofser Hitze, also auch heftigem Glühen verbundenen Verbrennung des aus dem Oele gebildeten Leuchtgases ein starkes Licht, noch stärker und die Augen durch übermäfsige Intensität blendend ist aber dasjenige, welches die sogenannten *Liverpool-Lampen* verbreiten, bei welchen der Procefs des vollständigen Verbrennens noch mehr gesteigert und die Stärke des Lichtes dadurch bedeutend erhöhet wird[1]. Dafs sich

1 S. Davy in Phil. Trans. 1817. p. 74.

übrigens dieses allgemeine Princip der genannten Lampen auf vielfache Weise und in den verschiedensten Formen anwenden lasse, liegt schon in der Natur der Sache und ist durch die mannigfaltigen Constructionen der überall verbreiteten Hängelampen, Säulenlampen u. s. w. genugsam erwiesen. Wenn es nun gleich nicht als ausgemacht zu betrachten ist, dafs das auſserordentlich helle Licht dieser Lampen den höchsten Grad der Erleuchtung giebt, welcher durch Kerzenlicht erhalten werden kann, so ist doch so viel gewifs, dafs die Helligkeit solcher Flammen weiter geht, als dem nahen Auge wohlthut. Die Lampen dieser Art eignen sich daher keineswegs zur Beleuchtung beim Lesen, Schreiben und bei der Verfertigung feiner Arbeiten, sondern nur zur Erhellung solcher Räume, in denen man nicht eben kleine Gegenstände in der Nähe betrachten, sondern nur gröſsere Objecte in weiterer Entfernung erkennen will, also der Kaufläden, der Billarde, der Schauspielhäuser, der Concert- und Tanzsäle u. s. w.

Schon frühe mufste sich die Bemerkung aufdringen, dafs das grelle Licht, selbst der Argandschen Lampen, den Augen nicht wohlthätig, manchen sogar zu angreifend und sogar unerträglich sey, und man war daher auf Mittel bedacht, dasselbe zu mildern. Dahin gehört der in Paris durch L'Ange gemachte Versuch, statt der weiſsen gläsernen Schornsteine gefärbte, namentlich blaue, anzuwenden[1], welches jedoch zu sehr dunkelt und als subjective Farbe Gelb erzeugt, weswegen kein mehrfacher Gebrauch davon gemacht worden zu seyn scheint. Glaser machte den gläsernen Cylinder doppelt und füllte den Zwischenraum zwischen beiden mit einer geeigneten Flüssigkeit, um den durchdringenden Lichtstrahlen eine dem Auge angenehme Farbe zu geben oder sie so weit zu schwächen, dafs sie ihre blendende Helligkeit verlieren[2]. Inzwischen sind solche Cylinder schwer zu verfertigen und zerspringen leicht bei der starken Hitze der Lichtflamme; die eingeschlossene Feuchtigkeit verdunstet stark, mufs daher bei anhaltendem Brennen der Lampe abnehmen und ist dann augenblicklich schwer zu ersetzen; sie wird auſserdem durch die Verdunstung concentrirter, dadurch in Farbe und

---

1 Zeitung für die elegante Welt. 1807. Nr. 2. G. LVI. 397.

2 C. F. W. Glaser's neuerfundene Studir- und Sparlampe u. s. w. Nürnb. 1796.

Dichtigkeit verändert und überhaupt ist ihre Anwendung mit mehrfachen Unbequemlichkeiten verbunden.

Das einfachste Mittel, dem Eindrucke des zu grellen Lichtes zu begegnen, war offenbar in der Zerstreuung der directen Strahlen zu suchen und wurde zuerst durch Parrot[1] angegeben, in gröfster Ausführlichkeit aber durch Rumford untersucht, welcher dabei von dem Grundsatze ausging, dafs die Mittel zur Erzeugung eines hinlänglich hellen und zugleich die Augen nicht unangenehm afficirenden Lichtes allerdings die Aufmerksamkeit der Physiker erregen und keineswegs den Künstlern und Lampenfabricanten überlassen bleiben müfsten[2]. Allerdings hatte L'Ange schon vorher das blendende Licht der Argandschen Lampen durch Schirme von Flor und Girard durch solche von mattgeschliffenem Glase zu mäfsigen gesucht[3], zugleich aber befürchtet, hierdurch zu vieles Licht zu verlieren. Rumford zeigte jedoch, dafs durch die zahllosen feinen Risse des mattgeschliffenen Glases und das zarte Florgewebe nicht sowohl ein Verlust des Lichtes, als vielmehr eine Zerstreuung der directen Strahlen nach allen Seiten hin bewirkt und somit blofs der grelle Eindruck der gesehenen Flamme auf das Auge vermieden werde. Die Gröfse der Schirme mufs allerdings zur Gröfse der Flamme in einem gewissen Verhältnisse stehen, wie zugleich angemerkt wird, ohne dafs jedoch eine scharfe Bestimmung hierüber nach photometrischen Gesetzen gegeben werden kann.

Rumford construirte nach diesen Grundsätzen zuerst die nach ihm benannte Hängelampe mit drei in der Mitte vereinten Argandschen Flammen, welche von Parquet in Paris verfertigt wurde, bei welcher jedoch noch mehrere Flammen vereint werden konnten, wenn eine gröfsere Helligkeit erforderlich war. An ihnen befand sich der schon erwähnte, jetzt bei stehenden Lampen sehr übliche, ringförmige Oelbehälter. Zugleich gab er sich viele Mühe und construirte nach einigen vergeblichen Versuchen eine tragbare stehende Lampe, welche seine vielfachen

---

1 Sur les moyens de changer la lumière artificielle etc. Strafsb. 1791. Deutsch Wien. 1791.

2 Mém. de l'Inst. VIII. p. 223. Im Auszuge in G. XLV. 343.

3 G. LVI. 397. Als Erfinder der gewölbten Schirme von mattem Glase wird auch Vivien genannt. S. Encyclop. méthod. Part. Phys. T. III. p. 630.

Anforderungen an eine solche Geräthschaft endlich befriedigte. Seine Angabe[1] bezeichnet eine Säulenlampe mit Handgriff, welcher zugleich zum Theil als Oelbehälter dient, obgleich letzterer als eine Halbkugel den oberen Theil der Säule umgiebt, mit einem glesernen Schornsteine, einem Argandschen Dochte und einem musselinenen Schirme. In Frankreich und namentlich in Paris werden diese Lampen ziemlich häufig angewandt, in Deutschland aber sind die nach der Seidlerschen Angabe construirten lackirten mit blechenem Schirme und bandförmigem Dochte die gebräuchlichsten. Der horizontale Handgriff der Rumfordschen Säulenlampe gewährt zwar grofse Bequemlichkeit beim Tragen, ist aber aufserdem wegen seines Schattens und in sonstiger Hinsicht keineswegs empfehlenswerth.

Ein gewisser Bordier-Marcet, zuerst Theilnehmer, dann Inhaber der Argandschen privilegirten Lampenfabrik zu Versoix, nahm später alle Verbesserungen Rumford's in Anspruch und trat als Kläger wegen Verletzung seines Patents gegen diejenigen Arbeiter auf, welche Rumfordsche Lampen verfertigten. In der Hauptsache bezog er sich darauf, dafs die letzteren mit runden Dochten versehen wären, worauf das Wesen seiner eignen Lampen beruhe und wobei es gleichgültig sey, was für eine Art Schirm man diesen gebe[2]. Allein Rumford hatte diese Erfindung stets als eine Argandsche anerkannt, nachdem die Sache selbst durch viele Versuche von ihm geprüft worden war, und die Einführung der Schirme von Flor und noch besser von mattgeschliffenem Glase, wodurch das Licht im ganzen Zimmer zerstreut, ein Theil nach unten reflectirt wird, um den Schatten des Flammenträgers aufzuheben, und wodurch das Licht überhaupt statt eines blendenden Eindrucks einen angenehmen auf das Auge hervorbringt, sind unverkennbare Verbesserungen, über welche sich Bordier nur seines beeinträchtigten kaufmännischen Vortheils wegen so unglimpflich auslassen konnte[3]. Bordier betrachtete die Rumfordschen Schirme nur als Nebensache, weil er aus Vorliebe sein Augenmerk vorzüglich auf parabolisch gestaltete, blofs reflectirende Schirme gerichtet hatte,

1 Bibl. Brit. 1811. Sept. G. XLVI. 365. Eine genaue Beschreibung derselben scheint mir überflüssig.

2 G. LVI. 391.

3 Vergl. Parrot in G. LXIII. 71.

hatte, durch welche er wegen Mangels an photometrischen Kenntnissen eine gröſsere Erhellung bewirken wollte, als der Natur der Sache nach möglich war. Solche Lampen, durch welche das helle Licht der Sterne nachgebildet werden sollte, nannte er *Astral-Lampen*.

Rumford richtete bei seinen Untersuchungen seine Aufmerksamkeit hauptsächlich auch auf das Material und die Form der Dochte. Wie oben bemerkt worden ist, beruht das Wesen der Dochte darauf, daſs die Fettigkeit in gehöriger Menge und unbeschmutzt vermittelst ihrer haarröhrchenartigen Zwischenräume der am oberen Ende derselben brennenden Flamme zugeführt werde. Dieser Zweck wird durch die gemeinen baumwollenen Dochte leicht vollständig erreicht, wenn man sie nach Rumford's Vorschlage in Wachs siedet, welches über den Siedepunct des Wassers erhitzt ist, dadurch die in ihnen befindliche Luft und Feuchtigkeit austreibt und sie nach dem Ablaufen des überflüssigen Wachses in Papier wickelt, um sie gegen Schmutz zu sichern. Ungleich wesentlicher ist es jedoch, dafür zu sorgen, daſs alles durch die Hitze der Flamme erzeugte Oelgas vollständig verbrenne, weil sonst der Verbrauch des Oels zu groſs ist gegen die Helligkeit der Flamme und obendrein leicht ein übler Geruch durch das nicht verbrannte und bloſs verflüchtigte Oel erzeugt wird. Alströmer suchte dieses durch die bandförmigen Dochte zu erreichen; Argand wählte mit noch mehr Erfolg für gröſsere Flammen die hohlen Cylinder; Rumford schlug vor, drei einzelne Fäden in kleinen Abständen von einander anzuwenden oder vier bandförmige Dochte mit ihren Seiten so zu vereinigen, daſs der Querschnitt ein rechtwinkliges Kreuz bilde[1]. Das beste Mittel, auf welches übrigens die Construction der Argandschen Dochte von selbst führen muſste, so daſs es kaum begreiflich ist, wie Rumford dieses übersehen konnte, war die Einrichtung der sogenannten Lampes à double courant, bei denen der Luftzug durch den innern hohlen Cylinder des Dochtes und um seine äuſsere Oberfläche statt findet und deren Erfinder Ami Argand zu seyn scheint. Auf diese Weise sind gegenwärtig die allgemein gebräuchlichen Säulenlampen gebaut, noch weit mehr aber ist dieses Princip bei den sogenannten *Liverpool-Lampen* in Anwendung gebracht worden.

---

1 G. XLV. 374 ff.

Bei diesen befindet sich über dem inneren blechenen Cylinder, welcher den Docht einschliefst, eine eiserne Scheibe vom Durchmesser jenes Cylinders, die man höher und niedriger stellen kann. Hierdurch wird die Flamme gezwungen, sich nach Aufsen in Form einer Tulpe auszubreiten, welches dadurch noch mehr befördert wird, dafs der die Flamme umgebende Glascylinder an eben dieser Stelle eine kugelförmige Erweiterung erhält, zugleich aber mufs der Luftzug so moderirt werden, dafs er gerade hinreicht, der Flamme so viel Sauerstoffgas in der atmosphärischen Luft zuzuführen, als zur vollständigen Verbrennung des aufsteigenden Leuchtgases erforderlich ist, ohne durch Uebermafs die Flamme zu sehr abzukühlen. Solche Lampen werden dann gleichfalls *Astral-Lampen* genannt[1].

Rumford suchte bei seinen Hängelampen die Stärke des erzeugten Lichtes dadurch zu vermehren, dafs er drei und mehr Argandsche Flammen, jede mit einem besondern Glascylinder versehen, und in geringem Abstande von einander vereinigte. Dieser Vorschlag ist blofs bei den anfänglich verfertigten, sogenannten Rumfordschen Hängelampen in Anwendung gebracht worden, bald nachher aber aufser Gebrauch gekommen, wovon der Grund vielleicht darin liegt, dafs es unmöglich ist, alle diese Flammen einander völlig gleich zu machen, wodurch dann eine ungleiche Tiefe der durch sie erzeugten Schatten entsteht, welche unangenehm auffällt, mehrerer anderen Schwierigkeiten nicht zu gedenken. Ein anderer Vorschlag, welchen ebenderselbe in Folge zahlreicher Versuche machte, bestand darin, zwei, drei und mehr bandförmige Dochte mit zwischen ihnen statt findendem Luftzuge zu vereinigen, wodurch nach seinen photometrischen Untersuchungen die Intensität des Lichtes bei gleichem Verbrauche von Oel um das Vier-, Fünf- und Mehrfache gesteigert wurde[2]. Es ist auffallend, dafs dieses durch anscheinend so entscheidende Resultate bestätigte Princip nicht mehr beachtet und allgemeiner in Anwendung gebracht wurde, wovon der Grund vermuthlich in den Schwierigkeiten eines zweckmäfsigen Mechanismus für die Regulirung der verschiedenen Dochte und in der bald nachher erfolgten grofsen Verbreitung der Liverpool-Lampen gesucht

---

1 Vergl. Tabor vollständiges Handbuch der Gasbeleuchtungskunst. Frankf. 1822. II. 472.

2 Phil. Trans. 1812. G. XLVI. 225.

werden mufs. Die Richtigkeit der Sache selbst ist übrigens durch die wiederholten gehaltreichen Versuche von Fresnel und Arago erwiesen, welche so gebaute Lampen zur Erleuchtung der Leuchtthürme benutzt haben. Hiernach werden zwei, drei oder vier cylinderförmige hohle Dochte concentrisch und in einem Abstande von ein bis drei Linien so vereinigt, dafs zwischen allen ein freier Luftzug statt findet. Zwei Dochte gleichen in ihrer Wirkung ungefähr fünf einfachen Lampen von Carcel, drei der von 10 und vier der von 20 mit bedeutender Ersparung an Oel. Solche Lampen von aufserordentlicher Lichtstärke werden in den Leuchtthürmen gebraucht, könnten jedoch auch in Theatern und Sälen angewandt werden[1]. Uebrigens ist es allerdings merkwürdig, dafs über einen in ökonomischer Hinsicht so wichtigen Gegenstand, nämlich die Erzeugung eines sehr starken Lichtes mit bedeutender Ersparung von Brennmaterial, aufser den angegebenen keine weitern Versuche und Erfahrungen bekannt geworden sind, da die Sache selbst, wenn sie sich wirklich den Angaben gemäfs verhält, allerdings zu einer vielfacheren Anwendung geeignet seyn würde.

Nicht sowohl zur Verstärkung des Lichtes an sich, als vielmehr zur Concentrirung desselben in einem gewissen Raume bringt man reflectirende Flächen an, welche die auf sie fallenden Strahlen zurückwerfen, mit den auf gewöhnliche Weise verbreiteten vereinigen und dadurch die Erleuchtung vermehren. Dafs die hierzu verwandten Spiegel oder *Reverberen* die absolute Menge des vorhandenen Lichtes nicht vergröfsern, geht schon daraus evident hervor, dafs keine spiegelnde Fläche alles auf sie fallende Licht zurückwirft, sondern einen ihrer Politur umgekehrt proportionalen Antheil verschluckt[2]. Bei den Reverberen spiegelt blofs die Oberfläche von verschwindend geringer Dicke und es kommt daher bei ihrer Construction zunächst nur diese in Betrachtung. Die meisten derselben sind von Metall, weil diese Substanz an sich und insbesondere in der Nähe der Lichtflamme gröfsere Sicherheit gewährt. Bei weitem am häufigsten verlangt man eine möglichst starke Reflexion des Lichtes und giebt daher der Oberfläche der Reverberen die vollkommenste Politur, die sie anzunehmen vermögen, in einigen

1 Ann. de Chim. et Phys. 1821. Avr. T. XX. p. 317.

2 Vergl. Art. *Spiegel.*

Fällen jedoch wird das Licht dadurch zu grell und angreifend für die Augen, namentlich bei der Erleuchtung der Zimmer, der Billarde oder des Papiers bei den Studirlampen, weswegen man in solchen Fällen einer weifsen Lackirung den Vorzug einräumt. Die Form der Reverberen ist fast allezeit die concave, weil sie in der Regel das Licht in einen kleinern Raum, als den einer halben Sphäre vereinigen sollen, und ebene Schirme werden in der Regel nur bei den Flammen solcher Lampen angewandt, die dazu bestimmt sind, die unteren Räume der in den oberen ohnehin genugsam erleuchteten Zimmer zu erhellen. Eine Menge Reverberen, z. B. der Strafsenlaternen, Wandlaternen u. s. w., sind ganz kunstlos und nach einer rohen Empirie gebogen, die der Leuchtthürme erfordern dagegen eine kunstgerechtere Form. Ist jedoch einmal der Ort der leuchtenden Flamme und der Raum gegeben, in welchen die Lichtstrahlen concentrirt werden sollen, so ergiebt sich die Form der reflectirenden Spiegel nach katoptrischen Regeln sehr leicht. Die Wirkungen solcher Spiegel werden in vielen Fällen auch durch Linsengläser erhalten[2]. Vorschriften zur Construction der Reverberen sind in Menge gegeben worden, man darf aber nur diejenigen für zuverlässig halten, welche von sachverständigen Optikern herrühren.

Das Licht der Lampen ist von ungleicher Weifse und Reinheit, je nach der Beschaffenheit des Oeles[2], es wird dunkler und trüber, wenn dieses unrein ist oder nicht alles entbundene, mit Kohlenstoff gemischte Gas vollständig verbrennen (durch Weifsglühen verzehrt werden) kann, im entgegengesetzten Falle ist es reiner und weifser, behält aber jederzeit eine gewisse rothgelbliche Färbung bei, selbst das sehr blendende der Liverpool-Lampen. Parrot[3] machte daher den sinnreichen Vorschlag, die blechenen Schirme der Studirlampen inwendig mit einem lichten blauen Lacke zu überziehn, wodurch das reflectirte bläuliche Licht sich mit dem unmittelbar auffallenden röthlich gelben zu einem sanften weifsen Lichte vereinigt. Inzwischen entsteht hierdurch immer nicht einfarbiges homogenes Licht, welches man oft zu optischen Versuchen zu haben wünscht. Ob das erzeugte Licht ein rein weifses sey, wie dieses

---

1 S. *Brennlinse.*

2 S. *Verbrennen, mit Flamme.*

3 G. LXIII. 72.

beim Sonnenlichte angenommen wird, kann nur dadurch aufgefunden werden, wenn bei der Zerstreuung desselben in die prismatischen Farben keine von diesen ein Uebergewicht der Intensität über die andere zeigt. Durch eine Reihe genauer Versuche fand Brewster[1], daſs die Weingeistflamme durch den Antheil des Wassers in der verbrennenden Flüssigkeit die Bläue verliert, welche der Flamme des Alkohols eigen ist, und ein einfarbig gelbes Licht giebt. Nach diesem Principe construirte er zwei von ihm so genannte *monochromatische Lampen*, indem er den Weingeist, statt mittelst eines Dochtes, mittelst eines Streifens Badeschwamm verbrennen lieſs und die Flamme dann mit einem feinen Gitter von Platindraht dicht über dem Schwamme bedeckte, worauf der über dem Metallnetze befindliche Theil ein reines Gelb zeigte, oder indem er den Weingeist in einem inwendig rauhen, mit Spitzen versehenen Platinschälchen verbrannte, welches von unten durch eine andere Weingeistlampe erhitzt wurde. Es würde jedoch überflüssig seyn, diese Lampen näher zu beschreiben, obgleich sie sehr zweckmäſsig construirt sind, da Brewster[2] späterhin aufgefunden hat, daſs jede Weingeistlampe zu einer vollkommen einfach gelbes Licht gebenden, also monochromatischen, wird, wenn man den Docht vorher in Salzwasser tränkt und wieder trocknet oder wenn man dem zu verbrennenden Weingeiste Kochsalz zusetzt. Schon vorher war diese Erfindung durch Talbot[3] gemacht und mit günstigem Erfolge angewandt worden.

D. Eine eigene Classe bilden die sogenannten *Sicherungslampen*, welche der eben so scharfsinnige als gelehrte Humphry Davy im Jahre 1816 bekannt machte. Sie sind zunächst dazu bestimmt, in denjenigen Kohlenbergwerken von den Arbeitern gebraucht zu werden, wo es sogenannte *schlagende Wetter*[4] giebt, indeſs leiden sie überall eine sehr nützliche An-

---

1 Trans. of the Edinb. Phil. Soc. IX. p. 433. Im Auszuge in Edinb. Phil. Journ. Nr. XIX. p. 120. Uebers. in Poggendorff Ann. LXXVIII. 98.

2 Edinb. Journ. of Science. N. Ser. I. p.108.

3 Edinb. Journ. of Sc. N. IX. p. 77. Vergl. Poggendorff Ann. XCII. p. 382.

4 Hauptsächlich in Steinkohlenminen, aber auch in andern dringen aus Rissen zuweilen oder anhaltend Gase hervor, welche aus Was-

wendung, wo sich explodirende Gasgemenge befinden. Weil die Explosionen solcher in grofser Menge angehäuften Gasgemenge nicht ganz selten mehreren Dutzenden von Arbeitern in den Bergwerken Gesundheit und Leben raubten, aus dieser Ursache aber an mehreren Stellen gar nicht gearbeitet werden konnte, so hatte man sich lange vergebens bemüht, eine gefahrlose Beleuchtung zu erdenken, und pflegte als dürftiges Hülfsmittel die Funken eines Stahlrades anzuwenden, welches an einem Feuersteine durch schnelle Umdrehung gerieben wurde. Inzwischen war das wenige, hierdurch erzeugte Licht für den beabsichtigten Zweck keineswegs genügend und durch die Anwendung von elektrischem Lichte und von leuchtendem Phosphor wurde selbst die Gefahr nicht vermieden [1]. W. Reid Clanny that den Vorschlag, eine grofse Laterne mit einem langen Schlauche zu versehen und durch diesen aus der Entfernung stets reine Luft vermittelst einer Pumpe zuzuführen [2]. Abgesehen von der Unbeholfenheit einer solchen schwerfälligen, nicht leicht und nicht weit transportirbaren Maschine gewährt sie nicht einmal absolute Sicherheit, weil eine Oeffnung in der Laterne zum Ausströmen der verdorbenen Luft unerläfslich, hierdurch aber die Verbindung mit den entzündlichen Schwaden gegeben ist. Davy beschäftigte sich lange mit dieser namentlich für England höchst wichtigen Aufgabe und wurde zur vollständigen Lösung derselben keineswegs durch Zufall, sondern durch die Resultate geführt, welche seine gehaltvollen Untersuchungen über das Verbrennen mit Flamme gaben. Die Theorie derselben gehört nicht hierher [3], wohl aber eine Beschreibung ihrer Construction, welche gleich anfangs durch ihren Erfinder in genügender Vollendung angegeben wurde [4].

---

serstoffgas mit Kohlenstoff (Kohlenwasserstoffgas) und zuweilen mit etwas Schwefel verbunden (Kohlenschwefelwasserstoffgas) bestehen. Durch die Vermischung derselben mit atmosphärischer Luft bildet das Sauerstoffgas der letztern mit ihnen eine Art Knallgas, welches sich an den Flammen der Grubenlichter entzündet und mit heftiger Explosion verbrennt, weswegen solche Mischungen schlagende Wetter (Luftzüge) genannt werden.

1 Davy in Phil. Trans. 186. p. 1 ff.

2 Phil. Trans. 1813. p. 200.

3 S. *Verbrennen*.

4 Phil. Trans. 1816. p. 23 u. 113. 1817. p. 79.

Fig. 5.

Die *Sicherheitslampen* (Lampes de sûreté, *Safety-Lamps*, *Wire-gauze-save-Lamp* nach Davy) bestehen aus einer gewöhnlichen Oellampe in Form einer cylindrischen Weingeistlampe, mit dem Dochte in der Mitte. Um in das Oelgefäſs A frisches Oel nachzugieſsen, ist seitwärts die mit einer Schraube verschlossene Röhre a angebracht und ein von unten herauf durch das Gefäſs gehender, oben gehörig gebogener Draht k dient dazu, den Docht der nicht geöffneten Lampe zu erheben oder niederzudrücken, um die Helligkeit der Flamme zu moderiren. Ueber diese Lampe wird der messingene Ring bc mit den drei lothrechten, in ihm befestigten Eisenstäbchen $\alpha\alpha$, $\beta\beta$, $\gamma\gamma$ geschraubt, welche oben vereinigt sind und einen gebogenen Draht aufnehmen, an welchem die Lampe getragen wird. Der wesentlichste Theil der Lampe ist das zu einem hohlen Cylinder umgebogene Drahtgeflecht, welches, in dem unteren Ringe befestigt, die Flamme umgiebt. Davy hatte nämlich durch Versuche gefunden, daſs die Flamme verbrennender Gase durch Geflechte von Draht nicht dringen kann, weil sie durch diese zu sehr abgekühlt wird, und da glühende Drähte verbrennliche Gase nicht entzünden, so kann eine mit einem Drahtgeflechte umgebene Flamme in einer Umgebung explodirender Gasarten brennen, ohne diese zu entzünden, selbst wenn das sie umgebende Drahtgeflecht glühend wird. Zu solchen Geflechten eignet sich Messing- und Kupferdraht, wohl noch besser Eisendraht, welcher beim Gebrauche in Kohlenbergwerken obendrein sehr bald mit Ruſs überzogen und dadurch gegen das Verderben geschützt wird. Die Dicke des Drahtes beträgt meistens 0,025 bis 0,015 eines englischen Zolles und könnte immerhin dicker gewählt werden, wenn dieser nicht zu viel Schatten gäbe und dadurch die Helligkeit der Lampe verminderte, abgerechnet, daſs solcher schwerer zu flechten ist. Die Weite der Maschen darf nämlich nicht mehr als 0,05 engl. Zolle betragen, wenn die Sicherung vollständig seyn soll. Die von Davy in die Bergwerke abgegebene Modelllampe hatte 748 Oeffnungen auf einem Quadratzoll, also 27,3 auf einem englischen Zoll, und sollten sie noch härtere Proben bestehen, so gab er ihnen 30 Oeffnungen auf die Länge eines Zolles. Dringen die Gasarten der schlagenden Wetter in den Drahtcylinder ein, indem zur Ernährung der Flamme stets frische Luft von Auſsen zutreten muſs, so verlängert sich die Flamme, und wenn jene $\frac{1}{12}$ der Luft

ausmachen, so füllt sich der ganze Cylinder mit einer schwachen blauen Flamme, in welcher die Flamme des Dochtes weiter brennt. Wächst die Menge des explodirenden Gases bis zu $\frac{1}{6}$ oder $\frac{1}{5}$ der gesammten Luftmenge, so wird der ganze Cylinder mit einer hellen Flamme erfüllt; die Lampe erlöscht aber, wenn diese Menge bis auf $\frac{1}{3}$ steigt, in welcher Mischung jedoch das Athmen nicht mehr statt findet. Solche Lampen schützen auch dann noch, wenn man die sehr stark explodirenden künstlichen Mischungen von Steinkohlengas mit atmosphärischer Luft durch sie aufsteigen läfst. Wenn das entzündliche Gas lange anhaltend in dem Drahtgewebe der Lampe brennt und dieses dadurch glühend wird, so räth Davy, den obern Deckel desselben zu Zeiten mit etwas Wasser zu bespritzen, um ihn abzukühlen, allgemein hat man jedoch den andern Vorschlag von ihm in Ausführung gebracht, nämlich über das obere Ende des Cylinders noch ein zweites, gleichfalls oben bedecktes, zu stellen, damit auch dann jede Gefahr vermieden wird, wenn die erste Bedekkung durch die beständig hierauf wirkende Hitze der Lichtflamme durchgebrannt seyn sollte[1]. Statt des Drahtgeflechtes Cylinder aus Metallblech mit sehr schmalen, länglichen Einschnitten zu wählen, hat Davy zwar gleichfalls angegeben, aber deswegen verworfen, weil sie bei weitem weniger Licht durchlassen.

Davy's Sicherheitslampen wurden sogleich nach ihrer Erfindung allgemein in den Kohlenminen eingeführt, namentlich in England, Frankreich und den Niederlanden, und sie waren in ihrer ganzen Construction so vollendet, dafs später keine bedeutenden Verbesserungen an ihnen angebracht worden sind. Der Erfinder selbst schlug vor, über dem Dochte einen feinen schraubenförmig gewundenen Platindraht zu befestigen, welcher, wie bei den Lampen ohne Flamme, durch den aufsteigenden Oeldunst und das umgebende explodirende Gas noch einige Zeit im Glühen erhalten wird, wenn die Lampe durch das in zu grofser Menge zuströmende explodirende Gas erloschen ist, weswegen dieser gewundene Platindraht also ein Mittel darbietet, mittelst dessen der Bergmann sich vermöge der geringen Erhellung aus den dunkeln Schachten herauszufinden vermag. Eine sehr nahe

1 Journal of the Royal Institution. 1816. Daraus in Journ. de Phys. 1817. Mars. p. 219. G. LVI. 112. 437. Ann. de Chim. et Phys. T. I. u. T. V.

liegende Verbesserung ist es ferner, wenn an einer Stelle in dem Drahtcylinder ein Glas eingesetzt wird, um durch dieses eine gröſsere Erhellung für irgend einen Punct, wo es hauptsächlich erforderlich ist, zu erhalten, oder wenn man zu einem ähnlichen Zwecke einen kleinen Metallspiegel anbringt. Erprobt wurde die Wirksamkeit und der auſserordentliche Nutzen solcher Lampen, namentlich in den Kohlenminen bei Elonges in den Niederlanden, welche man der schlagenden Wetter wegen verlassen hatte, durch dieses Hülfsmittel gesichert, aber wieder zu bebauen anfing. Dort entzündeten sich die schlagenden Wetter während einer einzigen Schicht[1] 150mal im Innern der Lampe, ohne jemals die Enzündung nach Auſsen durchzulassen[2].

Dessen ungeachtet glaubte Chevremont zu Mons Vieles tadeln zu können und gab daher mehrere Verbesserungen an, die er aber bei weitem zu hoch schätzte, und in der That hat man auch in England die ursprünglichen Lampen nach Davy's erster Angabe mit vollständigem günstigem Erfolge stets beibehalten, in den Niederlanden jedoch einige Veränderungen an ihnen angebracht. Chevremont gesteht indeſs selbst zu, daſs jene ersten Lampen in den Kohlenminen bei Mons zwei Jahre hindurch volle Sicherheit gewährt haben, giebt aber zugleich eine verbesserte Construction derselben an. Seine Lampe besteht, wie die Davy'sche, aus einem Oelgefäſse e, auf welches ein mit vier lothrechten Drähten versehener Ring geschraubt ist, zwischen denen der hohle Cylinder aus Drahtgeflecht steht. Der obere, etwa dritte Theil desselben besteht jedoch aus Kupferblech mit feinen Löchern, beide Theile sind durch einen Ring fest mit einander verbunden und der aus Kupfer bestehende Theil ist oben mit einer fein durchlöcherten, gegen das Verbrennen durch ihre Dicke gesicherten Platte versehn. Eine leichte und wesentliche Verbesserung besteht ferner darin, daſs die Röhre zum Nachfüllen des Oeles bis auf den Boden des Oelgefäſses reicht und dann wieder in die Höhe gebogen ist, damit allezeit ein kleiner Oelcylinder in derselben die Verbindung der äuſsern Luft und der innern in der Lampe aufhebt, um eine Entzündung auf diesem Wege zu verhüten. Der Deckel dieser Röhre hängt an einer Kette q, um nicht verloren zu werden, und da-

Fig. 6.

1 Die Dauer einer Arbeitszeit, meistens 8 Stunden betragend.

2 G. LXIX. 252.

mit die Bergleute aufser Stande sind, die Drahtcylinder abzunehmen, um ihre Pfeifen anzuzünden, bringt Chevremont ein Regnier'sches Combinationsschlofs f so an, dafs dieses gegen die Einfüllungsröhre stöfst, wenn man den Cylinder abschrauben will, wodurch letzteres unmöglich wird. Der Vorzug eines solchen Schlosses vor einem gewöhnlichen, wie sie in England gebraucht werden, soll darin bestehen, dafs der Staub bei letzteren das Schlüsselloch verstopfe; allein theils ist diese Gefahr nicht grofs und kann durch einen Schieber über dem Schlüsselloche leicht beseitigt werden, theils erfordert die Aufzeichnung und Anwendung der Combinationen für die einzelnen Lampen der vielen Bergleute so vielfache Bezeichnungen, dafs oft die hierzu beauftragten Personen bei der Eröffnung derselben in Verlegenheit kommen würden. Ein von unten durch das Oelgefäfs in einer Röhre gedrängt beweglicher, bis zum Dochte heraufreichender, oben krumm gebogener Draht zum Reinigen und Stellen des Dochtes findet sich auch bei dieser Lampe, statt der Glaslinsen aber, welche die Engländer zu gröfserer Erhellung eines kleinen Raumes anwenden, giebt Chevremont den kleinen Reverberen von verzinntem Eisenblech den Vorzug, welche Grossart in Mons angegeben hat.

Der aus Platindraht schraubenförmig gewundene Cylinder, welchen Davy vorgeschlagen hat, um durch das fortdauernde Glühen desselben so viel Helligkeit zu erzeugen, als erforderlich ist, damit die Bergleute nach dem Erlöschen des Dochtes durch die Explosion der schlagenden Wetter sich aus den Gruben finden können, hängt bei den englischen Lampen vom oberen Boden des Drahtcylinders herab und kommt daher beim Bürsten des letzteren, hauptsächlich wenn dieses zum Behufe des Reinigens inwendig geschehen mufs, leicht in Unordnung. Chevremont umgiebt daher den Rand der Oellampe mit einem Drahte nq, errichtet auf diesem den Träger o, an welchem oben der Ring np mit einem Kreuze befestigt ist, aus dessen Mitte der schraubenförmig gewundene feine Platindraht m herabhängt. Wird dann die Lampe zum Behufe des Reinigens aus einander geschraubt, so läfst sich dieser Draht mit seinem Gestelle herausnehmen und kann sowohl selbst gereinigt, als auch nach dem Reinigen der Lampe wieder leicht an seine Stelle gebracht werden[1]. Fig. 7.

---

1 Ann. générales des Sc. phys. T. I. p. 7. T. III. p. 137. Abge-

Gleich nach der Bekanntwerdung der Davy'schen Sicherheitslampen schlug Murray eine ähnliche vor, welche statt eines Drahtgewebes einen Glascylinder hatte, indeſs wurde sie nicht zweckmäſsig gefunden, so daſs man sie einer genaueren Prüfung und einer allgemeineren Anwendung nicht werth hielt. Später hat er abermals eine ähnliche neue Sicherheitslampe angegeben[2], welche aber seit 1822 nicht vermochte, die üblichen zu verdrängen. Sie besteht aus dem gewöhnlichen Oelgefäſse mit dem Dochte, hat aber statt des aus Draht geflochtenen Cylinders zwei ungleich weite gläserne Cylinder, deren Zwischenraum mit Wasser angefüllt ist. Dieses reicht nicht völlig bis unter den Deckel, damit es bei stärkerer Ausdehnung durch Wärme das Glas nicht zersprengt. Beide Glascylinder sind unten in dem Deckel der Oellampe befestigt, oben aber mit einem Deckel versehn, in welchem an der einen Seite ein Löchelchen zum Einfüllen des Wassers, an der andern aber ein gleiches, mit einem Stöpsel verschlossenes, zum Entweichen der durch dieses Eingieſsen des Wassers verdrängten Luft befindlich ist, beide so klein, daſs, wenn letzteres verschlossen ist, das Wasser selbst beim Umkehren der Lampe nicht ausläuft; in der Mitte des metallenen Deckels befindet sich dann noch ein drittes Löchelchen zum Entweichen der durch das Lampenlicht verdorbenen Luft. Die ganze Lampe wird durch vier Drähte zusammengehalten (von denen jedoch nur zwei in der Zeichnung sichtbar sind); auſserdem ist der untere ringförmige Fuſs von Blei gemacht, welches dazu dienen soll, daſs die fallende Lampe stets aufrecht zu stehen kommt und bei einer geneigten oder horizontalen Lage sich selbst aufrichtet, welches letztere bei ihrer Höhe und ihrem Gewichte schwerlich erreichbar seyn möchte. Um sie nämlich gegen Beschädigungen zu sichern, sollen die gläsernen Cylinder von dickem Glase seyn, allein dadurch muſs ihr Gewicht und die Gefahr des Zerbrechens beim Fallen nur noch vergröſsert werden.

Fig. 8.

Einen Haupttheil der Lampe bildet die Campane, welche vertical über der Flamme angebracht und mit einem wieder herabgehenden, durch das Oelgefäſs geführten und unten mit seiner

kürzt in G. LXIX. 353. Vergl. Schweigg. Journ. XXIX. 36. Ann. des Mines. 1823. 2me Livr. p. 209 u. 222.

1 Edinb. Phil. Journ. Nr. XII. p. 292.

Oeffnung nach abermaliger Umbiegung gegen ein Loch in einer Platte unter der Oellampe gerichteten Rohre versehn ist. Die Campane soll die durch das Brennen der Flamme verdorbene Luft durch das zweimal gebogene Rohr herabwärts und dann wieder in die Höhe leiten, so dafs sie in Verbindung mit der von Aufsen durch das Loch in der Platte unter dem Oelgefäfse eindringenden Luft durch die beiden engen Canäle, welche von unten herauf durch das Oelgefäfs in den innern Cylinder führen, abermals zur Flamme hingeleitet wird. Die Strömung der verdorbenen Luft soll so viel stärker werden, je mehr sich die Flamme durch Beimischung von explodirendem Gas erhebt, und indem hierdurch die Gefahr einer Explosion beseitigt wird, soll zuletzt die Flamme von selbst erlöschen. Den einzigen Erfolg einer Explosion im Innern der Lampe findet Murray in einem Zerschelltwerden des inneren Cylinders, wodurch dann die Flamme der Lampe vom Wasser erstickt wird, welches jedoch nicht füglich eintreten kann, insofern die Flamme früher durch das wachsende Verschlechtern der Luft von selbst erlischt. Die Lampe soll die härtesten Proben glücklich bestanden und gegen jede Gefahr vollkommen geschützt haben; eine Behauptung, welche jedoch mit der Vorsicht im Widerspruche steht, womit namentlich der hierin sehr erfahrene Chevremont jede freie Verbindung zwischen der Flamme und der äufsern Luft aufzuheben gesucht hat, und eine solche besteht offenbar durch die Oeffnung in der Deckplatte der Cylinder und selbst durch den Canal der umgekehrten Campane. Ist aber hiernach die Sicherung nicht vollständig, so begreift man leicht, warum diese Lampen bisher nicht eingeführt wurden, da sie wahrscheinlich kostbarer sind, als die gewöhnlichen, nie bedeutend gröfseres Gewicht haben und durch den Rufs der Flamme leicht verdunkelt werden[1]; eine Concurrenz derselben mit den Davy'schen scheint mir überall kaum denkbar.

Die Davy'schen Sicherheitslampen sind zwar zunächst bestimmt, um in den Bergwerken der Gefahr der schlagenden Wetter zu begegnen, allein ihre schützende Kraft kann auch

1 Einzelne anderweitige, in aufserwesentlichen Stücken abgeänderte Constructionen, z. B. in Dingler's polyt. J. XXV. S. 224., die Anweisung zu ihrem Gebrauche in Ann. des Mines T. X. p. 3. u. a. übergehe ich mit Stillschweigen. Vergl. Karsten's Archiv für Bergbau und Huttenwesen. Bd. II. Hft. 2.

sonst überall angewandt werden, wo die Veranlassung gegeben ist, sich mit einer Lichtflamme explodirenden Gasgemengen zu nähern. Wenn daher in beschränkten Räumen grofse Massen von Weingeist, noch mehr aber von Schwefeläther der bei ihnen so leicht statt findenden Verdunstung ausgesetzt sind, wenn zufällig oder absichtlich gröfsere mit diesen Flüssigkeiten gefüllte Gefäfse geöffnet werden oder durch einen Unfall zerbrechen und die Räume mit solchen Dünsten angefüllt sind, in welchem Falle man nach mehrfachen Erfahrungen Explosionen zu befürchten hat, sobald man sich mit einem brennenden Lichte in dieselben begiebt oder mit einer Flamme solchen Dämpfen nähert, insbesondere wenn die Leitungsröhren des Leuchtgases aus Steinkohlen oder Oel Risse bekommen und das aus diesen oder offen stehenden Hähnen strömende Gas sich in Zimmern, auf Gängen und überhaupt an nicht überall offen stehenden Oertern anhäuft, woselbst es dann mit atmosphärischer Luft gemengt und durch Kerzenlicht entzündet verschiedentlich die furchtbarsten Explosionen erzeugt hat, in allen diesen Fällen kann die Sicherheitslampe ohne alle Gefahr angewandt werden, indem sie nicht blofs ein Mittel giebt, nachzusehen und den Schaden wieder herzustellen, sondern auch durch das Verhalten der Flamme im Drahtcylinder die Gröfse der Gefahr anzeigt und durch ihr Erlöschen ein Zeichen giebt, dafs man sich aus solchen Oertern entfernen müsse, um einer andern Gefahr, nämlich der des Erstickens, vorzubeugen.

Auf eine sehr nützliche Anwendung dieser Lampen hat Blesson[1] nicht blofs aufmerksam gemacht, sondern auch die ganze Aufgabe durch entscheidende Versuche vollständig gelöst. Es ist nämlich von grofser Wichtigkeit, in Minen, welche gefüllt werden sollen, mit Lichtern zu arbeiten oder in belagerten Festungen zu jeder Zeit, also auch bei Nacht, in Pulvermagazine zu gehen oder endlich in den Laboratorien die Arbeiten des Abends und selbst bei Nacht ohne Unterbrechung fortzusetzen, und da keins von diesen selbst vermittelst der besten Laternen ohne grofse Gefahr geschehn kann, so war es von gröfster Wichtigkeit, mit Gewifsheit auszumitteln, ob umherfliegender Schiefspulverstaub auch dann durch eine Davy'sche Lampe nicht entzündet wird, wenn das Drahtgeflecht durch

1 G. LXIX. 225.

anhaltendes Brennen derselben bedeutend erhitzt ist. Zu diesem Ende streute Blesson Schiefspulverstaub so um die Lampe, dafs der Luftzug denselben durch die Maschen in das Innere des Drahtgeflechtes trieb, wo dann allerdings ein Aufblitzen erfolgte, ohne sich jedoch nach Aufsen zu verbreiten, obgleich ein freies Kerzenlicht die ganze Staubwolke mitunter blitzartig entzündete. Als die Lampe in eine künstlich erzeugte Wolke von Mehlpulver gehängt und mit letzterem bestreut wurde, erfolgte nie eine Entzündung desselben anders, als im innern Raume des Drahtgeflechtes. Wurde Schiefspulver als Mehl oder in körniger Gestalt auf beide Deckel der Lampe gelegt und die Flamme nach etwa 10 Minuten ausgelöscht, so fand man dasselbe auf dem unteren etwas geschmolzen, auf dem oberen aber unversehrt. War die Menge des auf beiden Deckeln liegenden Pulvers nicht grofs und wurde dem unteren eine Wachskerze hinlänglich genähert, so explodirte das auf diesem liegende, das auf dem oberen aber nicht, war sie aber gröfser, dann erfolgte die Explosion beider Portionen gleichzeitig, jedoch blieb die obere Lage auch in diesem Falle unversehrt, wenn der obere Deckel um 2 rheinl. Zolle vom unteren abstand. Selbst wenn die gröfsere Menge Pulver auf beide Deckel gelegt war und Mehlpulver durch die Maschen getrieben wurde, so dafs ein Theil desselben und etwas von dem herunter gefallenen explodirte, blieben beide Lagen unversehrt. Blesson glaubt, dafs selbst die geringere, absichtlich von ihm beim Versuche auf die Deckel gelegte Menge Pulvers gröfser sey, als sich jemals durch verbreiteten Pulverstaub auf ihnen ansammeln könne, und es scheint hiernach, als ob die Lampe gegen jede Gefahr hinlängliche Sicherheit gewähre, wenn man beim Scheine derselben mit Schiefspulver zu arbeiten unternähme. Eine Bedingung höherer Sicherheit, als bei explodirenden Gasgemengen, liegt offenbar in dem Umstande, dafs das Drahtgeflecht keine so grofse Hitze annimmt, als es erhält, wenn die explodirenden Gasarten im Innern desselben brennen, dagegen aber wird die Gefahr dadurch gröfser, dafs das Schiefspulver durch einen glühenden Draht oder Funken von Stahl und Kieselstein entzündet wird, statt dafs in schlagenden Wettern solche Funken in einer bis zum Erleuchten des Raumes hinreichenden Menge ohne Nachtheil erzeugt werden können, wie denn auch schon Davy gleich anfangs behauptete, dafs Schwefel und Phosphor die einzigen

Körper seyen, welche durch das Drahtgewebe hindurch entzündet werden könnten. Sollte die Frage über die Sicherung solcher Lampen gegen die Entzündung des Schiefspulverstaubes vollständig entschieden werden, so müfste aus einem über einer solchen Lampe herabhängenden, stets bewegten Siebe ununterbrochen Schiefspulverstaub so lange auf die Lampe herabfallen, als möglicher Weise bei Arbeiten dieser Art geschehen könnte, und der Erfolg dieses, allerdings ohne grofse Gefahr nicht anzustellenden, Versuches beobachtet werden.

Eine entfernte Aehnlichkeit mit diesen Lampen hat eine durch v. Humboldt angegebene und nach ihm benannte. Sie besteht aus einer gewöhnlichen Bergwerkslampe, verbunden mit einem Behälter, worin Sauerstoffgas durch Wasser gesperrt ist und nach Eröffnung eines Guerickeschen Hahns in der Nähe der Flamme ausströmt, damit diese weiter unterhalten wird an denjenigen Stellen der Bergwerke, wo die Luft nicht Sauerstoffgas genug enthält, um ein Licht brennend zu erhalten[1]. Die Aufgabe ist leicht und die Lösung derselben zweckmäfsig, allein der Vorschlag scheint wenig Anwendung gefunden zu haben, vermuthlich weil die Construction dieser Lampen, eben wie der durch Murray vorgeschlagene, zu complicirt ist, hierbei jedoch zur Erreichung des vorliegenden Zweckes nicht füglich anders seyn kann.

E. Unter der Classe der zum Leuchten bestimmten Lampen verdient noch eine eigenthümliche interessante Species erwähnt zu werden, welche in gewisser Hinsicht den Uebergang zu den Zündlampen bildet, insofern man sich dieser Apparate beim wirklichen Gebrauche, wenn sie dem geschehenen Vorschlage gemäfs als Nachtlichter dienen sollen, zum Zünden eines Stückchen Schwammes bedienen könnte, nämlich die gleichfalls von Davy erfundenen sogenannten *Glühlämpchen (aphlogistic Lamps)*. Sehr feine Massen regulinischen Platins, namentlich also schraubenförmig gewundener feiner Platindraht, Streifen sehr dünnen Platinbleches u. s. w. haben nämlich die durch Davy entdeckte merkwürdige Eigenschaft, Wasserstoffgas in Verbindung mit Sauerstoffgas zu verdichten und dadurch eine Temperaturerhöhung zu erhalten. Insofern diese Eigenschaft ihrem Wesen nach eine Art von Verbrennung des Wasserstoff-

1 Journal des Mines. T. VIII. p. 843.

gases und viel Wasserstoff enthaltender gasförmiger Flüssigkeiten bedingt, kann der gesammte Procefs hier nicht untersucht werden, sondern gehört unter den Artikel *Verbrennen*, wohl aber verdienen diejenigen Lämpchen hier eine Beschreibung, welche auf dieses Princip gegründet sind, obgleich sie keine Flamme und daher nur durch ihr anhaltendes Glühen eine geringe Erhellung geben.

Wenn man Weingeist oder Aether verdunsten läfst und in den aufsteigenden Dampf ein etwas erwärmtes Blättchen Platinblech oder einen schraubenförmig gewundenen feinen Platindraht hält, so bewirken diese eine fortdauernde Verbindung der aufsteigenden Dämpfe mit dem Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft, erzeugen dadurch die Bildung einer eigenthümlichen, von der Art ihres Entstehens *Lampensäure* genannten gasförmigen Säure und werden durch den fortdauernden langsamen Verbrennungsprocefs im Zustande des Glühens erhalten[1]. Nach diesen Thatsachen war blofs erforderlich, eine pafsliche Vorrichtung aufzufinden, um dieses fortdauernde Glühen des Platindrahtes durch das angegebene Mittel zu bewerkstelligen. Daneben wurde zwar bald aufgefunden, dafs auch sonstiger feiner Metalldraht zum fortgesetzten Glühen vermittelst aufsteigenden Alkoholdampfes gebracht werde, zum Behufe der Lampen bedient man sich jedoch ausschliefslich nur des Platins. Aufserdem sind zwar die möglichen und die wirklich dargestellten Formen, welche man diesen Lampen geben kann, sehr mannigfaltig, sie kommen jedoch im Wesentlichen sämmtlich darin überein, dafs man einem Löckchen von feinem, schraubenförmig gewundenen Platindrahte bei statt findendem mäfsigen Luftzuge unausgesetzt den Dampf von Weingeist zuführt.

Auf eine eben so leichte als einfache Weise läfst sich dieses bewerkstelligen, wenn man den feinen Platindraht um eine 1,5 Linie dicke Glasröhre schraubenförmig und mit dichten Lagen über einander bis zur Höhe von 0,3 bis 0,5 Zoll wickelt, das Gewinde herabzieht und auf den eben geschnittenen Docht einer gewöhnlichen Weingeistlampe stellt. Wird diese angezündet und nach der Erhitzung des Löckchens durch die Flamme wieder ausgeblasen, so zeigt sich letzteres bald nachher rothglühend, fast bis zum Weifsglühen. Form und Gröfse der Lampe

1 G. LVI. 242.

kommen hierbei kaum überall in Betrachtung; auch kann der Docht füglich entbehrt werden, wenn man nur das Löckchen so befestigt, daſs es nicht zu sehr abgekühlt, der Weingeistdampf demselben dagegen stets zugeführt wird. Es genügt daher auch, statt der Lampe jedes beliebige Gläschen anzuwenden, und statt des Dochtes kann sogar eine bloſse Glasröhre dienen, an welcher man das Löckchen befestigt; doch bleibt die erstere Einrichtung die bequemste und beste. Man hat ferner versucht, das glühende Löckchen mit einem kleinen gläsernen Schornsteine (Camine, Glascylinder), wie die Argandschen Lampen, zu umgeben. Richtig ist in dieser Beziehung, daſs eine solche Vorrichtung einen mehr gleichmäſsig starken Luftzug erzeugt und verhindert, daſs ein zu heftiger das Glühen nicht aufhebt, wenn auch kein sonstiger Nutzen davon erwartet werden kann[1].

Schon Davy bemerkte bei seinen ersten Versuchen über das fortdauernde Glühen des feinen Platins in den Dämpfen von Alkohol oder Aether, daſs dadurch eine vermittelst des Geruches wahrnehmbare flüchtige Substanz erzeugt werde, deren hauptsächliche Eigenschaft in einer die Respirationsorgane stark afficirenden Schärfe bestehe. Daniell und Faraday fanden bei genauerer Untersuchung, daſs aus der Verbindung des Weingeistdampfes mit dem Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft eine Säure gebildet werde, welcher Ersterer den Namen *Lampensäure* gab[2]. In der That ist die Menge der durch diesen Proceſs gebildeten Säure so groſs und ihr Eindruck auf die Respirationsorgane so stechend, daſs man ihre Anwesenheit gleich beim Beginnen des Glühens durch den Geruch wahrnimmt; bei längerer Dauer wird die Wirkung dieses Productes der langsamen Verbrennung des Alkoholdampfes so unerträglich, daſs John die Anwendung dieser Lampe als Nachtlicht, ihrer Wohlfeilheit und sonstigen Bequemlichkeit ungeachtet, für ganz unstatthaft erklärte. Das Licht, welches der glühende Draht verbreitet, ist nämlich nie so stark, daſs es den ruhigen Schlaf zu stören vermöchte, dennoch aber kann man bei dem so sehr kleinen Apparate eine nahe gehaltene Uhr ablesen und jederzeit Schwamm oder ein Schwefelhölzchen am glühenden Drahte anzünden. Um daher dem erstickenden Geruche zu begegnen, welchen die ge-

---

1 Vergl. G. LXI. 337.

2 Journ. of the Royal Institut. Vol. III.

bildete Lampensäure verbreitet, hat man vorgeschlagen, über dem glühenden Drahte eine Art von Helm anzubringen, in welchem die saure Flüssigkeit niedergeschlagen wird. Schon CHLADNI und SÖMMERRING bedienten sich gleich nach Bekanntwerdung dieser Lämpchen einer solchen Vorrichtung, indem sie über das Löckchen von Platindraht ein gläsernes Tintefafs mit vertiefter trichterförmiger Oeffnung stürzten, wie man sich dieser durch den Luftdruck gegen das Auslaufen der Tinte gesicherten Gefäfse zu bedienen pflegt. Man mufs dann aber darauf sehen, dafs die Luft seitwärts frei zum glühenden Platindrahte gelangen kann, um das erforderliche Sauerstoffgas zuzuführen, auch ist es aus dieser Ursache erforderlich, dafs das als Helm dienende Gefäfs oben eine Oeffnung habe, um hierdurch den unentbehrlichen Luftzug noch mehr zu befördern[1]. Aehnliche Vorrichtungen lassen sich leicht mehrere auffinden, wenn es der Mühe werth wäre, diese Apparate zur Befriedigung wesentlicher Bedürfnisse allgemeiner einzuführen, welches jedoch nicht der Fall zu seyn scheint.

II. Zündlampen oder Lampen zum schnellen Entzünden, zur schnellen Erzeugung von Licht.

Wenn man die zahlreichen Feuerzeuge ausnimmt, so giebt es nur zwei Arten von Zündlampen, nämlich die elektrische und die durch DÖBEREINER erfundene mit Platinschwamm, beide auf die leichte Entzündlichkeit des Wasserstoffgases, sobald es mit Sauerstoffgas in Verbindung gesetzt wird, gegründet.

M.

A. Elektrische Lampe.

Brennluftlampe, elektrisches Feuerzeug; Lampe à air inflammable; *Electric Lamp;* eine Vorrichtung, mit deren Hülfe man einen Strom von Wasserstoffgas durch einen elektrischen Funken entzünden und dadurch sehr leicht und sicher ohne irgend ein anderes Feuerzeug ein Licht anbrennen kann.

---

1 G. LXI. 344.

Nachdem Volta im J. 1777 [1] bei Gelegenheit der Bekanntmachung seiner interessanten Versuche mit der sogenannten elektrischen Pistole gezeigt hatte, dafs auch der kleinste elektrische Funke, z. B. aus dem Deckel eines Elektrophors von einigen Zollen im Durchmesser, schon hinreichend sey, die brennbare Luft zu entzünden, schien der Gedanke nicht sehr entfernt zu liegen, diese Eigenschaft zu dem nützlichen Gebrauche, den die elektrische Lampe gewährt, anzuwenden. Der geschickte Instrumentenmacher Brander in Augsburg scheint auch der Erste gewesen zu seyn, welcher ein solches Instrument unter dem Namen einer *elekrischen Lampe* in einer sehr einfachen Gestalt verfertigt hat. Eine Abbildung und Beschreibung desselben befindet sich nämlich bereits in der zweiten Ausgabe von Joseph Weber's Beschreibung des Luftelektrophors [2], wo ausdrücklich bemerkt wird, dafs Brander dieselbe an Liebhaber der Physik damals schon verkauft habe. Sie bestand aus einer Flasche l, welche mit brennbarer Luft über einer pneumatischen Wanne gefüllt wurde, und einem Glasrecipienten m, der mit einer messingnen Röhre versehn war, durch welche ein Hahn hindurch ging. Die Röhre des Recipienten wurde blofs durch einen Kork in die untere Flasche eingesteckt. Durch denselben Kork ging eine gleichfalls mit einem Hahne q versehene gebogene Röhre r, die in ein messingnes Röhrchen k mit feiner Oeffnung sich endigte; t und u sind zwei messingne isolirte Drähte, die sich in den Röhrchen v und w verschieben und sich dadurch mit ihren Knöpfchen in die gehörige Entfernung von einander bringen lassen, dafs der schwache elektrische Funke eines Elektrophors hindurchschlagen kann. Diese Knöpfchen müssen zugleich mit der Mündung des Messingröhrchens beinahe in einer geraden Linie stehen. Oeffnet man also zuerst den Hahn p, damit das Wasser aus dem Gasrecipienten in die untere Flasche ablaufen kann, so wird, wenn dann der Hahn q geöffnet wird, die brennbare Luft durch den Druck der Wassersäule aus der feinen

Fig. 9.

1 Briefe über die entzündbare Luft der Sümpfe von Herrn Alexander Volta nebst drei andern Briefen von demselben Verfasser. Aus dem Italienischen übersetzt von Karl Heinrich Köstlein. Stuttgart 1778.

2 Neueste mit der Beschreibung der elektrischen Lampe vermehrte Ausgabe. Augsburg 1779.

Endöffnung hervorströmen und sich durch einen gleichzeitig durchschlagenden Funken des aufgehobenen Deckels eines Elektrophors entzünden lassen. Unabhängig von Brander, aber etwas später, machte Fürstenberger, ein geschickter Kenner der Physik zu Basel, eine ähnliche Lampe bekannt. Diese Erfindung des Schweizers ist von Ehrmann in Strafsburg[1] beschrieben worden. Sie stimmt in der Hauptsache mit derjenigen von Brander überein.

Eine etwas bequemere Einrichtung wurde diesem Instrumente durch de Gabriel in Strafsburg gegeben. A und B sind die Glasgefäfse mit den messingnen Kappen K, L, welche in die Büchsen des Hahns R luftdicht eingeschraubt werden können. In diesen Hahn sind zwei Löcher g, h parallel und auf die Achse senkrecht gebohrt. Diese zwei Löcher passen auf zwei Röhren i und m, wovon die erstere an den obern Theil der Hahnenbüchse angeschraubt und mit dem Aufsatzrohre I versehen ist, die andere aber von dem untern Theile der Büchse bis nahe an den Boden des untern Gefäfses herabgeht. Das untere Gefäfs hat einen messingnen Fufs C, in dessen Mitte sich eine Oeffnung N befindet, welche, wenn die brennbare Luft auf die gewöhnliche Weise über der pneumatischen Wanne in das Gefäfs geleitet worden ist, mit einer Lappenschraube luftdicht verschlossen werden kann. Die Vorrichtung für den elektrischen Funken stimmt im Wesentlichen mit derjenigen an der zuerst beschriebenen Lampe überein und steht auf der messingnen Scheibe OO, welche in einem auf B angebrachten Reife befestigt ist. Eine der beiden Säulen hat einen gläsernen Schaft v, der an dem Ende ihres Metallstäbchens befindliche Knopf w kommt entweder unmittelbar oder durch eine Kette mit dem elektrischen Conductor einer Elektrisirmaschine, dem Deckel des Elektrophors oder dergl. in Verbindung. Die andere Säule, die nicht isolirt ist, leitet die Elektricität an die Metallscheibe oo, welche durch eine Kette mit dem Fufsboden verbunden werden kann.

Fig. 10. 11.

Dr. Ingenhousz[2] hat an dieser Lampe noch verschiedene

---

1 Description et usage de quelques lampes à air inflammable à Strasbourg. 1780. Beschreibung und Gebrauch einiger elektrischer Lampen. Aus dem Französischen. Strafsburg 1780. 8.

2 Beschreibung einer Brennluftlampe; in seinen vermischten

Verbesserungen angebracht. Zur leichtern Einbringung der brennbaren Luft gab er dem Boden des untern Gefäſses eine trichterförmige Gestalt. Den elektrischen Funken zu leiten dient eine von zwei isolirenden Stützen N, O gehaltene metallische Stange G, welche den Funken auf die Spitze des metallenen Hakens H überführt. So fährt er durch die aus D aufsteigende Säule der brennbaren Luft, setzt sie in Feuer und entzündet den Docht der Wachskerze I. Der Haken H ist mit dem Erdboden durch das Gefäſs selbst, nämlich die metallenen Röhren, das Wasser und den messingnen Boden des unteren Gefäſses verbunden. Das Loch Q dient, um das obere Gefäſs mit Wasser zu füllen. Die wesentlichste Verbesserung aber, die an Ingenhousz's Maschine angebracht war und die nach Gehler vom Professor Pickel in Würzburg herrühren soll, ist eine Vorrichtung, um den elektrischen Funken eines Elektrophors in dem Augenblicke überschlagen zu machen, in welchem die brennbare Luft ausströmt. Zu diesem Behufe ist an dem Haupthahne R eine Scheibe angebracht, um deren Peripherie eine daran befestigte seidene Schnur herumgeht, deren Ende L an eine messingne Kette gebunden ist. Diese Kette wird über eine an der Stange G befestigte Rolle K gezogen und ihr anderes herabgehendes Ende trägt den Deckel des Elektrophors. Auf diese Art hebt sich beim Umdrehen des Hahns durch das Anziehen der Schnur und Kette der Deckel von selbst auf und der Funke springt über, wenn durch eine Viertelsumdrehung sowohl der Canal für das Wasserstoffgas frei geworden, als auch der Deckel weit genug von dem Kuchen entfernt ist, daſs die Elektricität des Deckels eine hinlänglich starke Spannung angenommen hat, um den Zwischenraum durchbrechen zu können. Wenn man über den Rand des Harzkuchens einen schmalen Streifen Stanniol geklebt hat, welcher mit der metallenen Form zusammenhängt und weit genug hineinreicht, daſs der Deckel des Elektrophors, wenn er auf dem Kuchen ruht, in Berührung mit demselben kommt, so ist die jedesmalige Berührung des Deckels vor dem Aufheben nicht einmal nöthig. Noch hat Dr. Ingenhousz den Hahn M hinzugefügt. Er wird verschlossen, wenn man die Lampe nicht gebraucht, damit sich das im Rohre befind-

---

Schriften übersetzt und herausgegeben von Molitor. Wien 1784. gr. 8. Theil I. S. 213 u. f.

liche Wasserstoffgas nicht in die Atmosphäre zerstreue und beim Gebrauche der Lampe gleich das ausströmende Gas sich entzünde.

Bei diesen Verbesserungen blieb man indessen nicht stehen. Eine wesentliche rührt von LANGENBUCHER her, welcher der Lampe die Einrichtung gab, die ihr bis jetzt im Durchschnitte geblieben ist, indem er nämlich dem Elektrophore seinen Platz in einem Kasten anwies, welcher der Lampe selbst zum Fuſsgestelle dient, und eine solche Communication zwischen dem Deckel des Elektrophors und dem Hahne anbrachte, daſs bei einer Viertelsumdrehung desselben der Deckel hinlänglich gehoben wird, um einen Funken zwischen der Vorrichtung, die sich über dem Röhrchen des ausströmenden Wasserstoffgases befindet, überschlagen zu machen. Die noch später hinzugekommenen Verbesserungen betrafen theils eine mehr compendiöse Gestalt des ganzen Instruments, theils aber vorzüglich die Füllung des untern Gefäſses mit Wasserstoffgas. LANGENBUCHER bediente sich noch der unbequemen Vorrichtung eines mit 2 Röhren versehenen Korkes, der auf eine mit Wasserstoffgas vorher gefüllte Flasche aufgesteckt wurde, während das mit Wasser gefüllte obere Gefäſs der Lampe umgekehrt mit seinem Halse nach unten auf dem Korke sich aufgesteckt befand. Indem so aus dem obern Gefäſse das Wasser in die Flasche ablief, ging die brennbare Luft derselben in jenes über. Man übersieht leicht, wie viele Unbequemlichkeiten auch diese Einrichtung noch hatte. Um so wichtiger für den bequemen Gebrauch des Instruments war daher die einfache Veranstaltung zur Entwicklung des Wasserstoffgases in dem untern Gefäſse selbst, indem man dasselbe mit verdünnter Schwefelsäure füllt und Zink hineinbringt. Diese Einrichtung, so wie überhaupt die zweckmäſsige Gestalt, in welcher jetzt gewöhnlich die elektrische Lampe von den Mechanikern verfertigt wird, verdient noch eine kurze Beschreibung.

A ist ein hölzerner, wohl schlieſsender Kasten, in welchem sich das Elektrophor befindet. Auf diesem ruht, unterhalb von einem messingnen Ringe xx umgeben, die elektrische Lampe selbst. Das untere Gefäſs D dient zur Entwicklung und Aufbewahrung des Wasserstoffgases für den jedesmaligen Gebrauch. Sein Hals ist mit einer messingnen Fassung umgeben, worin ein Schraubengewinde eingeschnitten ist, in welches ein gleichfalls mit einer messingnen Fassung in der Mitte seines Halses ver- Fig. 12.

sehenes Gefäfs E luftdicht eingeschraubt werden kann. Eben so gut kann auch das obere Gefäfs mit seinem Halse in den Hals des untern luftdicht eingeschliffen seyn. Der obere Glasbehälter geht in einen längern Hals aus, welcher in das untere Gefäfs bis etwa ⅓ seiner Tiefe hinabreicht. An diesem Halse ist von unten her ein zu diesem Behufe in der Axe hohler Bolzen von metallischem Zink oder von aufgerolltem Zinkblech I aufgesteckt und durch einen durchbohrten Kork, der gleichfalls von unten her auf die gläserne Röhre aufgesteckt wird, befestigt. Der gläserne Hals des oberen Gefäfses selbst aber geht etwas tiefer, als das Zink reicht, in die Säure herab, damit das nach der Berührung des Zinkes durch die Säure noch weiter entwickelte Gas nicht entweichen kann, ist jedoch nur so lang, dafs bei stärkerer Gasentbindung die in die Höhe getriebene Säure nicht über den Rand des oberen Gefäfses tritt. Nach beiden Bedingungen müssen die Dimensionen des unteren und oberen Gefäfses, desgleichen die Länge des herabgehenden Halses des oberen Gefäfses abgemessen werden. In die messingne Fassung des Halses des untern Glasgefäfses wird das Messingstück GKL gleichfalls luftdicht seitwärts eingeschraubt, das der Länge nach mit einem Canale durchbohrt ist. Der vordere Theil L ist ein mit einer sehr feinen Oeffnung versehenes und in eine über diese hinaus fortgesetzte Spitze sich endigendes Röhrchen, welches besonders aufgeschraubt wird. In dem bauchigen Theile dieses Messingstückes befindet sich der in seiner Axe durchbohrte Hahn K, welcher in seiner gewöhnlichen Stellung den Canal abschliefst, dessen Durchbohrung aber, wenn er eine Viertelsumdrehung erhält, mit dem Canale des Messingstückes zusammenfällt. An dem dem Handgriffe des Hahns entgegengesetzten Ende desselben ist ein messingner Fortsatz o befestigt, welcher einen durch eine kurze massive Glasstange isolirten kleinen messingnen Haken α trägt. An diesem Haken hängt der durch die genannte Glasstange und die durch den obern Deckel des Kastens gehende Glasröhre g isolirte feine Kupferdraht ef, welcher unten mit einer Schlinge in das Häkchen h des Elektrophordeckels gehängt ist. Letzterer, kleiner als das Elektrophor $\varepsilon\varepsilon$ und aus einer mit einem Rande versehenen Platte Blech bestehend, hat in der Mitte eine Fassung b, in welche eine Glasstange oder besser der Spiegelglasstreifen a eingekittet ist. Dieser isolirende Glasstreifen hat am andern Ende eine metallene Fassung mit zwei

runden, in einer horizontalen Ebene liegenden Stiften, welche sich in zwei Löchern oder blofs Gabeln der beiden Stützen $\gamma\gamma$ drehen lassen. Wird daher der Draht ef angezogen, so hebt man zugleich den Deckel durch den genannten Glasstreifen isolirt in die Höhe.

Um diese elektrische Lampe zu gebrauchen, wird das Elektrophor erst aus dem Kasten herausgenommen, der Kuchen mit einem Fuchsschwanze hinlänglich geschlagen und das Elektrophor wieder an seinen Ort gestellt. Da der Harzkuchen an seinem Rande einen Stanniolstreifen hat, mit welchem der Rand des Deckels beim Aufruhen auf dem Kuchen in Berührung kommt, so ladet er sich beim jedesmaligen Herablassen von selbst, ohne dafs man ihn mit dem Finger zu berühren braucht. Alsdann wird das obere Gefäfs abgenommen, der untere Behälter mit verdünnter Schwefelsäure (aus einem Theile concentrirter Säure und 12 bis 18 Theilen Wasser) gefüllt und das obere Gefäfs mit dem Zinkbolzen am Halse wieder in dasselbe eingepafst. Sogleich beginnt die lebhafte Entwickelung des Wasserstoffgases und da der Hahn K geschlossen ist, so treibt es die verdünnte Säure aus dem untern Gefäfse in das obere, bis der Zinkbolzen aufser Berührung mit der sauern Flüssigkeit kommt, wo dann die weitere Entwickelung von selbst aufhört. Ehe diese Einrichtung getroffen ward, warf man gewöhnlich blofs einzelne Stücke Zink durch das obere Gefäfs in die Flüssigkeit des unteren, wobei man aber keine bestimmte Grenze für die Gasentwickelung hatte und bei einer zu grofsen Menge Zink sich immer der Fall ereignete, dafs die untere Mündung der Glasröhre aufser Berührung mit der Flüssigkeit kam, worauf dann alles sich noch weiter entwickelnde Gas durch diese Oeffnung und das obere Gefäfs entwich und gänzlich für den Gebrauch verloren ging, auch wohl durch die in die Höhe sich drängenden Blasen die Flüssigkeit aus dem obern Gefäfse, besonders wenn es nur eine solche Capacität hatte, um durch die von unten in die Höhe getriebene Flüssigkeit fast ganz gefüllt zu werden, herausgespritzt wurde. Bei der hier beschriebenen Einrichtung kann kein Gas verloren gehen und wenn man den Zinkbolzen hinlänglich dick und lang nimmt, so hat man für den Gebrauch der Lampe auf mehrere Monate und selbst Jahre Vorrath und keine weitere Mühe mit der Zurichtung derselben.

Da erforderlich ist, dafs das Gas unter einem nicht zu

schwachen Drucke ausströme, so muſs man die Dimensionen des obern Glasgefäſses im Verhältnisse gegen das untere so wählen, daſs, wenn die Gasentwicklung ihre Grenze erreicht hat, das Niveau der Flüssigkeit im obern Gefäſse sich etwa 8 Zolle über demjenigen im untern befinde. Will man die Gasflamme selbst hervorlocken, so giebt man dem Hahne eine Viertelsumdrehung, wobei eine Vorrichtung angebracht ist, daſs diese Umdrehung nicht weiter gehen kann. Durch diese Umdrehung des Hahns wird der durch das Glasstängelchen α, die Glasröhre g und den Streifen Spiegelglas a isolirte Deckel, indem diese drei Nichtleiter noch zu gröſserer Sicherheit mit Siegellack überzogen sind, vermittelst des feinen Drahtes e f in die Höhe gehoben und der elektrische Funke von demselben schlägt von der Spitze des messingnen Häkchens α gegen die verlängerte Spitze L etwa 2 Linien von der feinen Oeffnung in dem messingnen Röhrchen in demselben Augenblicke, in welchem durch die Viertelsumdrehung des Hahns K das Wasserstoffgas aus dieser feinen Oeffnung strömt. Insofern aber das ausströmende Gas mit der unteren Fläche der Spitze L in unmittelbarer Berührung ist, so wird der Funke jederzeit zünden, wie klein derselbe auch seyn mag.

Ich füge nach eigener vielfältiger Erfahrung noch einige Handgriffe und Vorsichtsmaſsregeln hinzu, bei deren sorgfältiger Beobachtung allein dieses Werkzeug seinen vollen Nutzen auf eine fast unfehlbare Weise leisten wird. Sehr viel, man darf fast sagen alles, kommt auf die Güte des Elektrophors an. Bedient man sich eines solchen, wie ich ihn unter dem Namen des *gepreſsten* in der 2ten Abtheilung des dritten Bandes dieses Wörterbuchs S. 733 beschrieben habe, mit einem genau passenden Deckel von einer Spiegelglasplatte, die unten mit Stanniol überzogen und am Rande von einem zinnenen Ringe umschlossen ist, und sorgt man dafür, daſs der untere Kasten wohl verschlossen sey, so reicht eine einmalige Elektricitätserregung des Harzkuchens auf die bekannte Weise nicht bloſs für Monate, sondern selbst für Jahre hin und bloſs ungewöhnlich groſse und anhaltende Feuchtigkeit der Atmosphäre vermag dem Elektrophore die für so kleine Funken erforderliche geringe Elektricität als seltene Ausnahme zu entziehen. Dabei muſs aber auch die gröſste Sorgfalt angewandt werden, daſs jede sonstige Zerstreuung der Elektricität des aufgehobenen Deckels vermieden werde. Daher muſs die Glasstange a (statt welcher man auch

zwei nehmen kann, die an der vordern Seite in eine hölzerne Fassung eingreifen, welche durch eine durchgehende Schraube von Holz in dem in der Mitte des Deckels angelackten Knopfe festgehalten wird) auf das beste überfirnifst seyn. Indessen ist diese doch schon etwas kostbare Vorrichtung nicht durchaus nöthig, sondern der Deckel kann auch ganz frei auf dem Harzkuchen liegen, in welchem Falle er sich um seinen eignen hintern Rand dreht, doch kann er sich unter diesen Umständen bei etwas raschem Aufheben wohl auch verrücken. Sehr wichtig ist es auch, dafs der Kasten von recht trocknem Holze verfertigt und wohl überfirnifst sey, so wie auch die kleine Glasröhre, durch welche die metallische Leitung hindurchgeht, durch einen Ueberzug von Siegellack in Weingeist aufgelöst gegen den Einflufs der Feuchtigkeit geschützt seyn mufs. Bisweilen ereignet es sich, dafs etwas Feuchtigkeit mit in den Canal kommt und durch den Gasstrom hervorgetrieben sich an die Spitze setzt oder kleine Staubtheilchen sich darauf lagern, wodurch das Entstehen des elektrischen Funkens verhindert wird. Man darf dann nur die Spitze mit etwas Papier abwischen und die Lampe thut wieder ihre Dienste. Wird eine elektrische Lampe mehrere Monate nicht gebraucht, so leistet sie zuweilen im Anfange, wenn auch gleich der elektrische Funke überschlägt, ihre Dienste nicht. Das Wasserstoffgas, das sich im obern Raume befand, hat in diesem Falle nach dem Gesetze der Ausgleichung, indem dasselbe durch das Wasser des untern Glasgefäfses mit der atmosphärischen Luft in Verbindung stand, seine Natur gänzlich verändert und ist nun ein unentzündliches Gemenge von überwiegendem Stickgas, wenig Sauerstoffgas und Wasserstoffgas. Man mufs in diesem Falle den gröfsten Theil des Gases erst entweichen lassen, wo sich dann durch die Einwirkung der verdünnten Schwefelsäure sehr bald wieder reines Gas ansammeln wird. Man könnte etwa die Besorgnifs hegen, dafs durch eine solche nicht so weit gehende Umwandlung sich eine Art Knallluft bilden möchte, die dann sich doch noch durch den Funken vorwärts entzünden, in Folge des Rückganges der Flamme aber explodiren und die Gefäfse zur gröfsten Gefahr zersprengen könnte. Allein Ingenhousz *hat schon im Jahre* 1782 *durch eigends angestellte Versuche gezeigt*[1], *dafs, wenn man selbst*

1 Dessen vermischte Schriften von Molitor. 1r Bd.

absichtlich das untere Glasgefäſs mit einem Gemische von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas fülle und den elektrischen Funken durch die hervorströmende Knallluft durchschlagen lasse, die Flamme nicht zurückgehe und die Knallluft in dem Behälter A *nicht entzündet werde, wenn die vordere Oeffnung nur fein genug sey und der Canal eine gewisse Länge habe,* welches letztere bei seiner Lampe allerdings noch mehr der Fall ist, als bei der oben beschriebenen Einrichtung, eine Erfahrung, die viele Jahre später wieder als eine neue aufgeführt wurde und zur Sicherheitslampe Davy's geführt hat.

Man hat die elektrische Lampe in den letzten Jahren dadurch noch in einer einfachern Gestalt dargestellt, daſs man die beiden Gefäſse, die bei der gewöhnlichen Einrichtung sich über einander befinden, gleichsam in einander steckte, wobei das innere die Stelle des untern und das äuſsere die Stelle des obern vertritt. A ist ein unten verschlossener Glashafen, ein Glascylinder von 6 — 8 Zoll Durchmesser mit einem nur wenig verengerten Halse b b, über welchen ein messingner Deckel c c greift und an welchem zugleich das innere Gefäſs B befestigt ist. In der Mitte dieses Deckels ist der Hahn d aufgeschraubt, der in der Mitte durchbohrt ist und bei einer gewissen Stellung eine Verbindung mit dem Raume des untern Gefäſses eröffnet. Auf dem Hahne ist das messingne Röhrchen e mit feiner Mündung aufgeschraubt. Man füllt A so weit mit der verdünnten Schwefelsäure, daſs, wenn bei verschlossenem Hahne das innere Gefäſs B eingetaucht wird, die Flüssigkeit oben bis zum Anfange des Halses des äuſsern Gefäſses durch die Luft im innern Gefäſse in die Höhe getrieben wird. Hierauf öffnet man den Hahn, um die atmosphärische Luft entweichen zu lassen, und läſst ihn eine kurze Zeit offen, damit der Rest derselben, der durch den Wasserdruck nicht mehr ausgetrieben werden kann, nachdem sich die Flüssigkeit in beiden Gefäſsen in gleiches Niveau gestellt hat, durch das sich entwickelnde Wasserstoffgas vollends ausgetrieben werde. Auch hier wird ein Zinkbolzen H angebracht, der sich unten an einer Glasstange oder einer Kette von Platindraht f befindet, die unten mit einem messingnen Haken an der messingnen Fassung aufgehängt ist, wie man aus der Figur selbst am besten ersieht. Die sonstige Einrichtung zur Erregung und Durchschlagung des elektrischen Funkens ist wie bei der vorher beschriebenen elektrischen Lampe.

Fig. 13.

In diesen beiden Gestalten gewährt die elektrische Lampe nicht bloſs ein sehr nützliches, sondern auch durch ihr Aeuſseres sehr gefälliges Hausgeräthe, vollends wenn man dazu schön geschliffene Glasgefäſse nimmt oder die gewöhnlichen mit zierlichen Umhüllungen in Form von Vasen oder Säulen von schöner Lackirung umschlieſst. Der Vortheil, bei Tag und bei Nacht augenblicklich eine Flamme zu haben, an der man ein Licht anstecken kann, ist so einleuchtend, daſs in manchen Gegenden beinahe in den Häusern aller Wohlhabenden sich dieses Feuerzeug findet.

Da die Elektrophore, wenn sie nicht mit aller Sorgfalt gearbeitet sind, ihren Dienst, besonders bei feuchter Witterung, versagen, so ist man auf den Gedanken gerathen, den Elektrophoren eine kleine Elektrisirmaschine zu substituiren, von welcher man voraussetzte, daſs sie als ein viel reicherer Elektricitätsquell, wie das Elektrophor, selbst bei der ungünstigsten Witterung noch genug Elektricität hergebe, um einen Funken durch den kleinen Zwischenraum der oben beschriebenen Vorrichtung durchschlagen zu machen. C. F. Hübschmann hat namentlich eine solche Abänderung der elektrischen Lampe beschrieben [1] und eine Abbildung davon auf drei Kupfertafeln gegeben. Die kleine Elektrisirmaschine aus einem Glascylinder befindet sich in dem untern Kasten, welcher der übrigen Vorrichtung zum Gestelle dient. Die Einrichtung, um die Maschine in Bewegung zu setzen, ihre Elektricität fortzuleiten und mit dem Durchschlagen des elektrischen Funkens das Ausströmen des Gases zusammentreffen zu machen, ist zwar sinnreich, aber doch zugleich sehr complicirt. Die Füllung des Behälters mit Gas geschieht bei der von Hübschmann beschriebenen Lampe noch nach der ganz alten Einrichtung, indem dasselbe bei seiner Entwicklung aus einer gewöhnlichen Gasentbindungsflasche durch eine Röhre übergeführt wird, während zugleich durch eine heberförmige Röhre das Wasser des Behälters in gleichem Maſse abflieſst. In München verfertigt man auch solche elektrische Lampen, wo statt der Glascylindermaschine eine kleine Scheibenmaschine in einem Behälter seitwärts angebracht ist. Indessen werden diese Werkzeuge durch eine solche Einrichtung

---

1 Beschreibung einer neuen vorzüglich bequem eingerichteten elektrischen Lampe. Leipzig 1821.

viel zu kostbar, um in den gewöhnlichen häuslichen Gebrauch aufgenommen zu werden, und dabei versagen sie ihren Dienst noch viel eher, als eine Lampe, deren Elektrophor mit gehörigem Fleiſse und nach den von mir für das *gepreſste Elektrophor* aufgestellten Regeln verfertigt ist, da Elektrisirmaschinen bei feuchtem Wetter gewöhnlich ganz unwirksam sind, wenn sie nicht zuvor gut erwärmt werden. Die eigne Erfahrung hat mich von diesem häufigen Fehlschlagen einer solchen Münchner elektrischen Lampe überzeugt. *P.*

B. Döbereinersche Lampe.

Zündlampen mit *Platinschwamm* oder *Döbereinersche Zündlampen* machen die zweite Species dieser zur schnellen Erzeugung einer Lichtflamme bestimmten Apparate aus. Döbereiner entdeckte nämlich, daſs nicht bloſs die Dämpfe von Aether und Weingeist mit Sauerstoffgas gemengt in der Berührung mit dünnen Massen metallischen Platins unter Ausscheidung von Wärme verdichtet werden, worauf die oben unter I. E. beschriebenen *Glühlämpchen* beruhen, sondern daſs ein Gemenge von Wasserstoffgas mit Sauerstoffgas, am stärksten Knallgas, einer gleichen Einwirkung unterworfen sey und daſs dieses nicht bloſs zu Wasser verdichtet werde, sondern zugleich das feine Platin zu einem Grade des Glühens bringe, welcher hinreicht, das Gasgemenge dann selbst zu entzünden[1]. Es lag sehr nahe bei der Sache, daſs man hiernach gar keiner Elektricität bedürfe, um einen Strom von Wasserstoffgas in seiner Berührung mit atmosphärischer Luft zu entzünden, sondern daſs dieses auch durch das im Platinschwamm dargestellte sehr feine regulinische Platin geschehen könne, und Döbereiner gab daher sogleich selbst an, daſs diese Substanz zur Construction der nach ihm benannten Zündlampen benutzt werden könne. Inzwischen war die Technik seit der Erfindung der elektrischen Lampen so weit fortgerückt, daſs man keine unförmlichen und schwer zu manipulirenden Apparate baute, sondern die neuen Lampen wurden sogleich in eben so einfacher als eleganter Form verfertigt und fanden so vielen Beifall, daſs sie jenen älteren elektrischen groſsen Abbruch gethan, ja zum Theil sie sogar verdrängt haben.

---

1 Vergl. Art. *Verbrennen.*

Uebrigens war die Aufgabe für den jetzigen Standpunct der Mechanik gar nicht schwer, denn es wurde bloſs verlangt, einen Strom Wasserstoffgas auf ein Stückchen Platinschwamm blasen zu lassen, wobei also selbst der Mechanismus eines gleichzeitig mit diesem Strome erzeugten elektrischen Funkens, wie jene erstere Classe von Lampen ihn fordert, wegfiel. Eben daher wurden sie unter den mannigfaltigsten Formen und von der verschiedenartigsten Gröſse, mitunter auffallend klein, dargestellt. Weil aber alles dieses gar kein wissenschaftliches Interesse hat, die Sache selbst obendrein sehr bekannt ist, so begnüge ich mich damit, von den vielfachen Formen nur einige der gefälligsten hier kurz anzugeben.

Mehrere kamen gleich anfangs auf die Idee, sich bloſs einer krummgebogenen Glasröhre zu bedienen, ungefähr nach der Art, wie diese durch Fyfe[1] beschrieben worden ist. Diese Lampe besteht aus einer bloſsen solchen Glasröhre von etwa einem Zoll Weite, welche durch Einlassen in den hölzernen Fuſs B mit beiden Schenkeln aufwärts gestellt ist. Der längere Schenkel wird etwa 8, der kürzere 5 Zolle lang genommen, ersterer mit einem beweglichen Deckel bedeckt, letzterer aber mit einer messingnen Fassung versehn, welche einen Hahn D und eine feine Spitze f für das aus ihr strömende Wasserstoffgas hat. Um dieses zu erzeugen, wird die Röhre mit verdünnter Schwefelsäure (1 Theil Säure mit 12 bis 18 Theilen Wasser) so gefüllt, daſs sie bis nahe an die messingne, vorher abgeschraubte Fassung reicht, dann ein Stück Zink G hineingeworfen und, daſs dieses nicht bis in die Biegung herabfalle, durch das Stück Glasröhre H verhindert. Ist alsdann die Fassung luftdicht wieder aufgeschraubt, so füllt sich der kürzere Schenkel mit dem aus der Säure und dem Zink entbundenen Wasserstoffgase, dieses drückt die Säure in dem längeren Schenkel hinauf, bis das Zink mit ihr auſser Berührung kommt, und wird dann selbst durch die höhere Säule der Flüssigkeit im längeren Schenkel so weit zusammengedrückt, daſs es nach Oeffnung des Hahns D aus der Spitze f ausströmt. Indem letzteres geschieht, kommt es, mit etwas Sauerstoffgas der umgebenden atmosphärischen Luft gemengt, in Berührung mit dem Platinschwamme bei F, welcher, an einem Platindrahte

Fig. 14.

1 Edinb. Phil. Journal. Nr. XXII. p. 341. Daraus in G. LXXVIII. 329.

befestigt, durch den Träger L von einem um die Glasröhre gelegten Ringe getragen wird. Der Träger L ist ein Cylinder und um den Platinschwamm gegen die Einwirkung der äufsern Luft zu schützen, welche seine Zündungskraft vermindert, hängt an einer kleinen Kette l der Deckel K, welcher nach dem Gebrauche über den Platinschwamm geschoben und auf dem Cylinder L festgesteckt wird. Ist die Säure durch aufgelösten Zink gesättigt, so giefst man sie nach weggenommenem Deckel aus dem längeren Schenkel aus und füllt durch diesen neue ein, bis allmälig das Zink verzehrt worden ist und durch neues ersetzt werden mufs.

Diese jetzt beschriebene Lampe soll den einzigen Vorzug der Kleinheit und des geringen Preises haben, denn schon früher wurden in England andere gröfsere und ungleich elegantere in Menge verfertigt. Die erste, ganz von der elektrischen Zündlampe entlehnte Form erhielt dieselbe durch den Künstler GARDEN[1] in London. Ein gläsernes Gefäfs CD mit einem Fufse ist dazu bestimmt, die verdünnte Schwefelsäure aufzunehmen, welche in Verbindung mit Zink zur Erzeugung des Wasserstoffgases dient. In dieses pafst mit seinem eingeschliffenen Halse mn ein zweiter gläserner Ballon AB, mit einem herabgehenden Rohre von Glas, auf welches das Stück Zink op gesteckt wird, und mit einem blofs gegen Staub schützenden Glasstöpsel S. Wird letzterer Ballon in das mit der verdünnten Schwefelsäure gefüllte Gefäfs CD herabgesenkt, so entbindet das Zinkstück op Wasserstoffgas, dieses füllt das untere Gefäfs an und treibt die Säure in das obere Gefäfs, wo sie zugleich hoch genug ansteigt, um den erforderlichen hydrostatischen Druck gegen das eingeschlossene Wasserstoffgas auszuüben, damit dieses mit gehöriger Geschwindigkeit ausströmt. Am Halse des untern Gefäfses befindet sich nämlich eine Röhre a, welche mit einer messingnen Fassung versehn ist. Letztere ist durchbohrt, jedoch kann der Canal durch den Hahn d geöffnet und verschlossen werden. Ist derselbe geöffnet, so strömt das Gas aus der Spitze c gegen den in dem Ringe P befindlichen Platinschwamm und wird durch diesen entzündet. Endlich ist der Ring P an der Stange ef in der Hülse h beweglich, um den Platinschwamm der Ausströmungsöffnung beliebig zu nähern.

Fig. 15.

1 Edinb. Journal of Science. Nr. 1. p. 144.

Ungleich schöner, einfacher und zugleich minder kostbar ist die Gestalt, welche Adie[1] in Edinburg den neu erfundenen Lampen gab, weswegen man diese auch sehr allgemein eingeführt findet. AB ist ein cylindrisches Glas mit einem Fuſse, etwa 7 bis 12 Zolle hoch und verhältniſsmäſsig weit, oben mit einem lose aufgelegten Deckel versehn, welcher bloſs von Holz seyn kann. Mitten durch diesen geht das unten offene gläserne Gefäſs CD mit seinem langen und engen Halse so, daſs es durch sein eignes Gewicht bis auf den Boden des ersten Gefäſses herabsinkt, wenn der allenfalls nur lose aufgesteckte Deckel den Glascylinder schlieſst. Das obere Ende des hervorragenden Halses ist mit einer messingnen Fassung ab versehn, an welcher der Hahn d, die Spitze c, woraus das Wasserstoffgas strömt, der Träger des Platinschwammes P und der in der Hülse h bewegliche Träger fe durch den bloſsen Anblick der Figur kenntlich sind. Unten auf dem Boden des äuſsern Gefäſses liegt der aus Stein oder Blei oder Glas verfertigte Cylinder op mit einem geeigneten Conus von Zink k. Ist letzterer mit seiner Unterlage in das leere Gefäſs gelegt und dieses alsdann mit verdünnter Schwefelsäure bis etwa zur Höhe CD angefüllt, so senkt man das innere Gefäſs mit geöffnetem Hahne d in dasselbe herab, damit die atmosphärische Luft entweicht, und wenn man den Hahn verschlossen hat, nachdem das innere Gefäſs fast bis zur Höhe CD mit der sauren Flüssigkeit angefüllt ist, so wird das entbundene Wasserstoffgas letztere aus demselben vertreiben, bis sie auſser Berührung mit dem Zinke gekommen ist und die Gasentwicklung aufhört. Die hiernach also in das äuſsere Gefäſs getriebene und dadurch höher stehende Flüssigkeit übt dann einen hinlänglichen hydrostatischen Druck aus, um das Ausströmen des Gases aus der Spitze c zu bewirken. Den beiden letzten Maschinen, wovon insbesondere die zweite sonst nichts zu wünschen übrig läſst, könnte vortheilhaft noch die bei Fyfe's Lampe befindliche Kapsel zum Einhüllen und Sichern des Platinschwammes hinzugefügt werden. Wenig verändert ist die durch W. Dyce[2] angegebene Lampe, bei welcher der Hals des innern Gefäſses auf der messingnen Fassung eine aufwärts gehende und dann wieder nach unten gebogene Spitze trägt, aus

Fig. 16.

1 Edinb. Journal of Science. Nr. 1. p. 145.

2 Ebend. Nr. 5. p. 151.

welcher das Gas in einen kleinen, mit Platinschwamm gefüllten, auf einer lothrechten Stange ruhenden Becher bläst. Es kann diese Veränderung jedoch keineswegs für eine wesentliche gelten, auch ist die beabsichtigte Verringerung des Preises nicht bedeutend.

III. Lampen zum Heizen.

Jede Lampe läfst sich zugleich zum Erhitzen gebrauchen, insofern jede Flamme Wärme giebt und zwar nach Rumford beim vollständigen Verbrennen des Brennmaterials eine der Quantität des letzteren direct proportionale Menge[1]. Es ist aus dieser Ursache nicht zu übersehen, dafs die in Zimmern brennenden Lichtflammen zugleich die Wärme daselbst bedeutend vermehren[2], wenn sie gleich ausschliefslich nur zur Beleuchtung derselben bestimmt sind; inzwischen kann hier nur von denjenigen Lampen die Rede seyn, durch die man ganz eigentlich Wärme oder Hitze zu erzeugen beabsichtigt.

Eine grofse Zahl solcher Lampen ist dazu bestimmt, dafs ihre Flamme durch eine mehr oder weniger künstliche Vorrichtung gegen das zu erhitzende Object geblasen wird, z. B. die Lampen der Mineralogen, der Glasbläser, der Emailleurs u. s. w., weswegen sie denn *Blaslampen* genannt werden. Wegen ihrer vielfachen und verschiedenartigen Anwendung ist ihre Zahl sehr grofs und man hat sie von mannigfaltiger Form, wobei jedoch die meisten Veränderungen nicht sowohl die Lampen selbst, als vielmehr die Art betreffen, auf welche die Luft hinzugeführt wird, oder die Vorrichtung des Blasens. Die hierbei zu berücksichtigenden physikalischen Gesetze sind inzwischen sehr einfach und es genügte daher, nur die wesentlichsten Constructionen derselben etwas näher zu beschreiben[3]. So wie man hierzu sowohl Weingeistlampen, als auch Oel- und Unschlittlampen anwendet, ist dieses gleichfalls der Fall bei solchen, die nicht zum Hitzen durch die geblasene Flamme, sondern durch die letztere ohne weitere Modification bestimmt sind. In dieser Hinsicht ist zu berücksichtigen, dafs die Flamme verbrennender Fettigkeiten an

1 Vergl. Art. *Wärme*.

2 Vergl. *Heizung*. Th. V. S. 166.

3 S. Art. *Gebläse*. Th. IV. S. 1154.

die mit ihr in Berührung gebrachten Körper eine nicht unbedeutende Menge Kohlenstoff als sogenannten Lampenrufs absetzt, weswegen man sich dieser nicht bedient, wenn die hieraus nothwendig folgende Beschmutzung nachtheilig seyn würde. Bei der Flamme des Leuchtgases findet ein solches Beschmutzen durch Rufs bei weitem in geringerem Grade statt und so viel weniger, je kleiner die Quantität des Kohlenstoffes in der angewandten Gasart ist, es fallt aber ganz weg bei der Anwendung einer Weingeistlampe, weswegen man sich dieser auch ausschliefslich dann bedient, wenn die erhitzten Körper völlig rein bleiben sollen, wie z. B. der Platinschwamm der Zündlampen. Die Flamme des Weingeistes hat jedoch das Eigenthümliche, dafs aus dem verbrennenden Wasserstoffe desselben in Verbindung mit dem Sauerstoffgase der atmosphärischen Luft eine bedeutende Menge Wasser gebildet wird und sich an die über ihr befindlichen Körper in tropfbar flüssiger Gestalt ansetzt, wenn deren Hitze nicht hinreicht, dasselbe zu verflüchtigen.

Von welcher Art übrigens die Flammen seyn mögen, deren man sich zum Erhitzen der Körper unmittelbar oder der mit Sand, Wasser oder sonstigen Substanzen erfüllten Gefäfse bedient, in welche dann die zu erwärmenden gesetzt werden, so bedient man sich entweder einer einzelnen oder mehrerer vereinten Flammen, wie z. B. bei Göttling's [1], Percival's [2], Körner's und andern Lampenöfen, desgleichen sucht man die Verbrennung des angewandten Brennmaterials so vollständig zu machen wie möglich, um aus demselben die gröfste erreichbare Hitze zu erhalten. Dieses geschieht aber, wie bereits oben gezeigt wurde, durch einen allseitig um den brennenden Docht oder die brennende Flamme statt findenden, der Menge des entwickelten verbrennlichen Gases genau angemessenen Luftzug, also den sogenannten doppelten Luftzug (double courant). Man bedient sich daher gegenwärtig sehr allgemein, sowohl bei Fett- als auch Weingeistlampen, der Argandschen Dochte nnd Brewster hat diesen erforderlichen Luftzug auch bei der An-

---

1 Göttling's Handbuch der theoretischen und practischen Chemie. Jena 1798 — 1800. III Th. 8. Th. I. u. A.

2 Trans. of the Irish Soc. IV. p. 91.

3 Trommsdorff's N. Journ. für Pharmacie. Th. VII. Hft. 2. S. 91. Vergl. Scherer's Ann. Th. VII. S. 108.

wendung der Leuchtgasflamme in Vorschlag gebracht[1]. Um demnächst die erzeugte Hitze mehr zu concentriren, wendet man einen Kamin an, welcher in diesem Falle nicht gerade durchsichtig seyn mufs und daher auch von Metall verfertigt werden kann. Endlich ist es sehr vortheilhaft, diese Art Lampen so einzurichten, dafs man die Flamme oder die mehreren Flammen dem zu erhitzenden Körper willkürlich näher rücken kann, um die Hitze nach Erfordern bis zum Maximum dessen, was sie zu leisten vermögen, zu verstärken.

In diesen allgemeinen Grundsätzen sind alle diejenigen Bedingungen enthalten, welche bei der Construction solcher Art Lampen in Betrachtung kommen, und es ist daher nur noch erforderlich, nach diesen die verlangten Apparate ihrer jedesmaligen individuellen Bestimmung angemessen darzustellen. Es sind solche bereits in Menge vorgeschlagen und auch wirklich ausgeführt worden, unter denen insbesondere die durch Guyton de Morveau beschriebene[2] am bekanntesten geworden ist. Sonstige, zum Theil noch zweckmäfsigere Constructionen sind angegeben durch Fuchs[3], Greiner in Pesth[4], Eimbke[5] und Andere[6]. Von allen diesen theile ich jedoch hier blofs die genauere Beschreibung einer einzigen mit, die sich eben so sehr durch ihre Bequemlichkeit, als auch durch die grofse Hitze auszeichnet, welche bei Anwendung derselben erzeugt und aufserdem leicht und augenblicklich vermindert und verstärkt werden kann.

Sie ist im Wesentlichen durch Berzelius[7] angegeben worden und unter dem Namen der *Berzelius'schen Weingeistlampe* bekannt, jedoch insofern abgeändert, als bei jener das Weingeistgefäfs sich unter der Flamme befindet, hier aber seitwärts angebracht ist. Soll sie die verlangte Wirkung leisten, nämlich dafs in

---

1 Edinb. Journ. of Science. N. Ser. N. 1. p. 108. Da die Anwendung des Leuchtgases für diese Zwecke auf dem Continente kaum gebräuchlich ist, so übergehe ich eine weitere Beschreibung dieser Vorrichtung.

2 Ann. de Chimie. T. XXIV.

3 S. Buchner's Repertorium. IX. S. 164.

4 Ebend. XII. S. 316.

5 Schweigger's Journ. XXXI. S. 87.

6 Vergl. John's Wörterb. der Chemie. Th. II. S. 341.

7 S. Mitscherlich's Lehrb. der Chemie. Berl. 1829. 1s Hft. S. 184.

einem Platintiegel, welcher etwa 25 Gramme wiegt und 20 bis 25 Gramme Wasser faſst, eben so viel kohlensaures Natron binnen 15 Minuten geschmolzen werde, so muſs der Docht 1,5 par. Linien Durchmesser haben und die übrigen Theile müssen dieser Gröſse proportional seyn. Die in der nachfolgenden Beschreibung mitgetheilten Maſse sind von einer kleineren entnommen, welche etwas mehr als halb so viel leistet, dafür aber auch verhältniſsmäſsig weniger Weingeist verzehrt.

Fig. 17. A A ist der verticale Durchschnitt eines Bretes, worauf die Lampe ruht, cd eine cylindrische eiserne Stange, der Träger der Lampe und des dazu gehörigen Armes, welcher als Halter der zu erhitzenden Gegenstände dient. B ist der cylindrische Behälter des Weingeistes, dessen Gröſse willkürlich genommen werden kann, je nachdem die Menge der aufzunehmenden Flüssigkeit längere oder kürzere Zeit bei geringerer oder stärkerer Hitze vorhalten soll. Im Mittel reicht ein Maſs von 20 bis 24 par. Linien Höhe und 30 bis 36 Linien Durchmesser hin, jedoch darf das Gefäſs nicht kleiner seyn, weil die Flamme bei groſser erforderlicher Hitze viel Weingeist verzehrt. Für gewöhnlich ruht die Lampe auf drei Füſsen, deren einer a als Stütze des Rohres ef dient, durch welches der Weingeist dem Dochte zuflieſst, die beiden andern aber mit diesem ein gleichschenkliges, spitzwinkliges Dreieck bilden und das Gefäſs rechts von dem Eisenstabe cd unterstützen[1]; inzwischen dient der mit einer Feder gegen den Eisenstab drückende Ring g dazu, die ganze Lampe höher zu stellen, indem sie auf diesem ruht, wenn man ihn aufwärts schiebt. Das Gefäſs hat einen in der herabgehenden, nach unten verjüngten Röhre h eingeschliffenen Conus i mit einem hervorstehenden Handgriffe, wie die Guerick'schen Hahnen zu haben pflegen. Die Oeffnung nach Herausnahme des Conus dient zum Eingieſsen des Weingeistes, zugleich hat der Conus selbst einen von oben herabgehenden, an der Seite sich öffnenden engen Canal, welcher nach der Lampe hin gekehrt das Eindringen der Luft in das Gefäſs gestattet, nach Auſsen gedreht aber das Gefäſs luftdicht verschlieſst und somit

1 Man erkennt sie nach der Beschreibung leicht und ersieht, warum sie in der Durchschnittszeichnung nicht sichtbar sind; übrigens können sie auch fehlen, da die Lampe dennoch auf dem Ringe g ruht.

das Verdunsten und Ausfließen des Weingeistes hindert. Um letzteren beim Nichtgebrauche der Lampe völlig abzuschließen, dient ferner der Guerick'sche Hahn k, welcher für diesen Fall geschlossen werden kann und geöffnet, wenn der Weingeist dem Dochte zufließen soll. Der kreisförmig zusammengebogene Docht befindet sich zwischen den beiden concentrischen, im Innern des doppelten Luftzuges wegen durchbohrten Cylindern von Blech sstt, der äußere Ring pq aber dient dazu, den Docht, wie bei den Säulenlampen, durch Umdrehung desselben um den eingeschlossenen Cylinder höher und niedriger zu heben, indem er durch drei aufwärts gehende Streifen an derjenigen Röhre befestigt ist, in welcher sich der zum Festbinden des Dochtes bestimmte Ring befindet. Dieser inwendig mit einer Schraube versehene Ring, in welchen ein Einschnitt des eben genannten hohlen Cylinders faßt, schraubt sich selbst durch Umdrehen des äußern Ringes in die Höhe, indem sein weibliches Schraubengewinde in das männliche des innern Cylinders der Zeichnung eingreift.

Um die zu erhitzenden Gefäße über die Weingeistflamme zu bringen, dient der auf der eisernen Stange verschiebbare, durch eine Feder festgeklemmte hohle Cylinder w mit dem Arme vv, an dessen Ende ein horizontaler Ring von etwa 2,5 Zoll Durchmesser befestigt ist. An diesem hängt der etwa 1,5 Zoll hohe und eben so weite hohle Cylinder zz von dünnem Messingblech, welcher als Kamin zum Zusammenhalten der Hitze und zur Beförderung des Luftzuges dient. Ueber den horizontalen Ring legt man drei mit ihren Enden zusammengewundene, ein Dreieck bildende Eisendrähte und setzt auf diese oder senkt durch den Raum, welchen sie einschließen, die zu erhitzenden Gefäße herab, die man vermittelst des verschiebbaren Cylinders w der Flamme auf beliebige Entfernungen nähern kann. Die Flamme ist so stark, daß dünne metallene Gefäße in kurzer Zeit zu glühen anfangen, auch kann man in derselben eine Glasröhre von 2 Linien Dicke füglich bis zum Krummbiegen erhitzen.

Es scheint mir nicht überflüssig, bei dieser im Allgemeinen sehr zweckmäßigen Einrichtung noch eine sehr nützliche und leicht auszuführende Verbesserung in Vorschlag zu bringen. Der Physiker nämlich sowohl, als auch hauptsächlich der Chemiker verlangt oft geringere, oft größere Hitze anzuwenden und es ist sehr bequem, wenn beides mit dem nämlichen Apparate ge-

schehn kann. Werden die beschriebenen Lampen in der angegebenen kleineren Dimension ausgeführt, so leisten sie das nicht, was Berzelius von ihnen verlangt, giebt man dem Dochte 1,5 bis 1,75 par. Zolle Durchmesser, so muſs man für geringere Hitzegrade die Flamme sehr niedrig erhalten, in welchem Falle aber der innere flammenleere Raum einen starken kalten Luftzug erzeugt, und immerhin ist es gewiſs minder vortheilhaft, daſs bloſs ein einziger hohler Flammencylinder sich unter den zu erhitzenden Körpern befindet. Diesen Nachtheilen abzuhelfen und um die Hitze von einem geringeren bis zu einem sehr hohen Grade zu steigern, dient folgende Verbesserung. An der den Weingeist zuführenden Röhre ef zwischen t und a wird eine zweite untere, der oberen parallele, rechtwinklig gebogene Röhre angebracht und auf dieser ein zweiter, im Innern des gröſseren bis zu gleicher Höhe mit ihm hinaufgehender, hohler Cylinder aufgerichtet. Dieser, gleichfalls mit einem Dochte versehn, bildet eine Lampe für sich, welche gleichfalls einen doppelten Luftzug hat, und überhaupt ist derselbe ganz auf gleiche Weise, als der ihn umgebende gröſsere eingerichtet. Ein kleiner Arm, welcher sich zwischen beiden Zufluſsröhren der Lampen hin bewegen läſst, ist an demjenigen Ringe befestigt, durch dessen Umdrehung der Docht höher oder niedriger gestellt werden kann. Beim Gebrauche der Lampe zündet man für geringere Hitzegrade bloſs den Docht des innern Cylinders an, für verstärkte dagegen beide, und mäſsigt die Flamme des einen oder beider durch die erforderliche Stellung der Dochte. Als geeignete Dimensionen sind zu betrachten für den inneren Cylinder ein äuſserer Durchmesser von 11 par Linien, für den inneren des äuſseren Cylinders 1,5 bis höchstens 1,75 par. Zolle, das Weingeistgefäſs aber muſs dann 3 Zoll Höhe bei 5 Zoll Weite haben, wenn beim Brennen beider Flammen ein zu häufiges Nachgieſsen von Weingeist vermieden werden soll. Endlich scheint es mir fast überflüssig, für den Künstler noch zu bemerken, daſs der zweite gebogene Arm angesetzt seyn muſs, damit er abgenommen, für sich gereinigt und mit einem neuen Dochte versehn werden kann.

M.

Landcharte.

Mappa geographica; Mappe géographique; *a Map.*

Man versteht darunter die Darstellung eines Theiles der Erdoberfläche auf einer Ebene. Wegen der Kugelgestalt der Erde kann eine solche Darstellung nicht im strengsten Sinne die Lage der einzelnen Puncte der wahren Lage auf der Kugel ähnlich angeben; die verschiedenen Arten, Landcharten zu entwerfen, haben den Zweck, diese Aehnlichkeit so nahe, als möglich ist, zu bringen; indessen sollen bei einigen auch noch andere Absichten erreicht werden. Die verschiedenen Arten der Charten werden sich am besten in drei Abtheilungen bringen lassen, 1) solche, die nur kleine oder mäfsig grofse Theile der Erdoberfläche umfassen; 2) solche, welche die ganze Halbkugel auf einmal darstellen (Planiglobien); 3) diejenigen, die zum Nutzen der Seefahrt eine besondere Einrichtung haben.

I. Darstellung einzelner Länder.

Wenn es auf die Darstellung eines sehr kleinen Theiles der Erde ankommt, so ist es bekanntlich erlaubt, diesen als eben anzusehn, und man kann ihn daher den Regeln gemäfs auftragen, die für ähnliche Figuren in der Ebene gelten. Da man auf der Landcharte die Angabe der geographischen Länge und Breite der Orte fordert, der Längengrad aber unter irgend einer Breite gleich dem Producte aus der Gröfse des Breitengrades in den Cosinus der Breite ist, so theilt man die zu zeichnende Charte durch Parallellinien, welche die Meridiane, und darauf senkrechte Parallellinien, welche die Parallelkreise vorstellen, so ein, dafs die Grade oder Minuten auf jenen und auf diesen das eben angegebene Verhältnifs haben. Bei der Bestimmung dieses Verhältnisses legt man den Breitengrad des in der Mitte der Charte liegenden Punctes zum Grunde. Obgleich nun diese Darstellung eigentlich nur für sehr kleine Theile der Erdoberfläche gelten kann, so läfst sie sich doch allenfalls bis etwas über 1 Grad gebrauchen, indem die wahre Gröfse der Parallelkreise, selbst unter 60 Graden, sich für jeden halben Grad doch nur wenig über $\frac{1}{70}$ ändert.

Da der Hauptfehler dieser Darstellungsart darin besteht, daſs die Gröſse der Grade auf den meisten Parallelkreisen erheblich von der Wahrheit abweicht, so geht man von ihr am leichtesten zu folgender Construction über. Man ziehe in der Mitte der Charte eine gerade Linie, die den Meridian des mittlern Ortes vorstellen soll; man trage auf sie die Grade des Meridians nach einem gegebenen Maſsstabe auf und ziehe durch die Theilungspuncte Linien auf den Meridian senkrecht, welche die Parallelkreise vorstellen; auf den äuſsersten nördlichen Parallelkreis trage man Grade auf, so groſs als es der wahren Gröſse der Längengrade in dieser Breite angemessen ist, und eben so trage man auf dem südlichsten Parallelkreise Längengrade der wahren Gröſse, für diese Breite angemessen, auf; durch diese von der Mittellinie an aufgetragenen Puncte ziehe man gerade Linien durch die correspondirenden Theilungspuncte, so daſs die nächste Linie den um 1 Grad, die zweite den um 2 Grade von der Mitte liegenden Meridian vorstellt. Wie die einzelnen Orte in diese Vierecke eingetragen werden, läſst sich leicht übersehn und es erhellt, daſs diese Charte allerdings von der Aehnlichkeit mit dem Urbilde abweicht, weil die Meridiane nicht, wie es auf der Kugel geschieht, die Parallelkreise senkrecht durchschneiden, in Hinsicht auf die Abstände aber werden die Fehler selbst bei ziemlich bedeutender Ausdehnung der Charte nicht sehr groſs. Erstreckt sich die Charte von der Breite $= b$ bis zur Breite $= b + \Delta b$ und von der Länge $= l - \frac{1}{2}\Delta l$ bis zur Länge $= l + \frac{1}{2}\Delta l$, so ist, wenn ich die Länge eines Breitengrades durch β, die Länge eines Längengrades durch $\lambda = \beta \,.\, \text{Cos.}\, b$ bezeichne, der auf der Charte abgemessene Abstand der Orte, die unter den Längen $= l - \frac{1}{2}\Delta l$ und $l + \frac{1}{2}\Delta l$ und unter den Breiten b und $b + \Delta b$ liegen, durch

$$\sqrt{[(\text{Cos.}\, b + \text{Cos.}\, (b + \Delta b))^2 \, \tfrac{1}{4}\beta^2 \,.\, \Delta l^2 + \beta^2 \,.\, \Delta b^2]}$$

ausgedrückt; so lang ist die Diagonale der Charte, wenn man diese durch die zwei letzten Meridiane begrenzt. Der wahre Abstand dieser Orte ist dagegen durch

$$\text{Cos.}\, c = \text{Sin.}\, b \,.\, \text{Sin.}\, (b + \Delta b) + \text{Cos.}\, b \,.\, \text{Cos.}\, (b + \Delta b) \,.\, \text{Cos.}\, \Delta l$$

gegeben. Jene Formel giebt, wenn man $b = 55^\circ$, $b + \Delta b = 63^\circ$ und $\Delta l = 12^\circ$ annimmt und $\beta = 15$ Meilen setzt, den Abstand $= 151{,}5$ Meilen; diese giebt $c = 10^\circ\, 4\frac{1}{2}'$, also $= 151{,}1$ Meilen. Aber die vom mittlern Meridiane am meisten entfernten Meridiane würden auf dieser Charte schon Winkel von 5 Graden mit

der Senkrechten machen und daher eine leicht näher zu berechnende Unähnlichkeit hervorbringen.

Eine Charte mit geraden Meridianen und geraden Parallelen reicht also für gröſsere Länder nicht aus und wir suchen daher, was eine Charte leistet, auf welcher die eine Classe dieser Linien gerade bleibt. Sollen nämlich die Meridiane gerade Linien bleiben und die nach richtigem Verhältnisse gegen die Pole kleiner werdenden Parallelkreise senkrecht durchschneiden, so ist es am besten, diese Parallelkreise als wirkliche Kreisbogen aufzutragen. Um hier das Verhältniſs der Längengrade auf den beiden äuſsersten Parallelkreisen, die den Breiten $= b$ und $= b'$ entsprechen, richtig zu erhalten, müssen sich die Halbmesser derjenigen Kreise, welche diese äuſsersten Parallelkreise vorstellen sollen, wie Cos. b zu Cos. b′ verhalten. Soll also die Charte eine Höhe $= a$ in irgend einem Maſse, zwischen den Parallelkreisen in den Breiten b, b′, bekommen und soll r der Halbmesser des aufzuzeichnenden kleinern Parallelkreises seyn, so wird $\frac{r \text{ Cos. } b}{\text{Cos. } b'}$ der Halbmesser des gröſsern Parallelkreises und da ihre Differenz $= a$ seyn soll, so ist $r = \frac{a \text{ Cos. } b'}{\text{Cos. } b - \text{Cos. } b'}$. Die Construction ist daher diese. Man zieht in der Mitte der Charte eine gerade Linie AB als Meridian der Orte, welche in der Mitte des aufzuzeichnenden Stückes der Erde liegen; man theilt diese in gleiche Theile, die Grade des Meridians vorstellend, und verlängert sie gegen den Pol hin, bis $AC = r = \frac{a \text{ Cos. } b'}{\text{Cos. } b - \text{Cos. } b'}$ ist; den so gefundenen Punct C macht man zum gemeinschaftlichen Mittelpuncte der durch alle Theilungspuncte der AB zu ziehenden Kreise, nimmt auf BG die Bogen $BD = DD' = D'D'' = BF \,.\, \text{Cos. } b$, wenn BF einen Grad des Meridians vorstellt, und zieht durch D, D′, D″ die geraden Linien DC, D′C, D″C als Meridiane. Es läſst sich leicht übersehn, daſs die so hervorgehende Theilung der Parallelkreise nur für die beiden Kreise AH, BG in richtigem Verhältnisse ist, nicht aber für die zwischenliegenden Parallelkreise; der Fehler ist gegen die Mitte am gröſsten. Um diesen Fehler zu vermindern, ist es gut, nicht die äuſsersten Parallelkreise zur Bestimmung des r zu gebrauchen, sondern zwei Parallelkreise, welche zwischen der Mitte und den beiden äuſsersten Grenzen

Fig. 18.

liegen, damit die Fehler um die Mitte geringer werden und dagegen ein Theil der fehlerhaften Eintheilung auf die oberen und unteren Grenzen der Charte komme. Eine Charte von Europa mufs 30 Grade der Breite und 60 Grade der Länge umfassen; wäre hier der 45ste Grad und der 60ste Grad zur Eintheilung zum Grunde gelegt, jener $= 0{,}707 \cdot \alpha$ und dieser $= 0{,}5 \cdot \alpha$, so würde der Längengrad in der Breite $= 52\frac{1}{2}$ Grad auf der Charte $= 0{,}6035$ seyn, statt dafs er nach dem wahren Verhältnisse $= 0{,}6088 \cdot \alpha$ seyn sollte; ist also der Meridiangrad $= \alpha = 1$ Zoll, so macht diefs für 30 Längengrade allerdings ungefähr $\frac{1}{7}$ Zoll aus, aber bei Charten, die so viel Raum umfassen, pflegt man sehr oft nur solche Bestimmungen zu verlangen, bei denen es auf kleine Fehler nicht ankömmt; man will nur die Lage der Länder und Städte übersehn, ohne sich auf genaue Abmessungen einzulassen, und wenn dieses der Fall ist, so darf man sich selbst zu so grofsen Charten dieser Zeichnungsart bedienen. Diese Construction[1] hat den Vorzug, leicht ausführbar zu seyn und die Lage der Meridiane gegen die Parallelkreise als rechtwinklig richtig darzustellen, auch ist das Verhältnifs der Theile des Netzes, das Verhältnifs der Seiten der Vierecke, worein die Charte getheilt ist, nur wenig von dem richtigen Verhältnisse abweichend.

Genauer erhält man allerdings die Darstellung, wenn man die Construction noch etwas abändert und sich gefallen läfst, auch die Meridiane nicht alle gerade zu zeichnen. Man zeichne den Meridian für die Mitte der Charte als gerade Linie und bezeichne den Punct I auf ihm, der in der Mitte der Charte liegen soll und dessen geographische Breite ich $= b$ setze; man berechne, wenn α die Gröfse des Breitengrades bezeichnet, $\alpha \cdot 57{,}296 \cdot \text{Cotang. } b$ und trage diese Linie von I nach C; um C als Mittelpunct ziehe man durch I den Parallelkreis und auch durch die übrigen auf dem Meridiane AB aufgetragenen Theilungspuncte die übrigen Parallelkreise; dann aber trage man auf jedem der Parallelkreise besonders die Längengrade nach ihrem richtigen Mafse $= \alpha \text{ Cos. } b$ für die Breite $= b$, ferner $= \alpha \text{ Cos. } b$ für die Breite $= b'$ und so ferner auf und ziehe die alsdann

1 Die man die von DE L'ISLE nennt und die der schon von PTOLEMAEUS vorgeschlagenen sehr ähnlich ist.

sich gekrümmt ergebenden Meridiane durch die so bestimmten zusammengehörenden Puncte.

Diese Construction giebt alle auf einerlei Parallelkreise gemessenen Abstände in genau richtigem Verhältnisse; dieses findet dagegen nicht ganz strenge für die Meridiane statt, indem die gekrümmten Meridiane für gleiche Breitenunterschiede nicht ganz gleiche Stücke geben, auch sind die Meridiane nicht ganz genau gegen die Parallelkreise rechtwinklig, indefs betragen beide Abweichungen selbst bei einer grofsen Ausdehnung der Charte nicht sehr viel.

Der Halbmesser $= \alpha . 57,296$ Cotang. b wird durch folgende Ueberlegung bestimmt. Wenn B den Ort vorstellt, der auf dem mittlern Parallelkreise der Charte liegt, so hat hier die Kugelfläche eben die Neigung gegen die Axe PC der Erde, wie die Seitenlinie der durch Umdrehung der PB um PC entstandenen Kegelfläche, PB aber ist = CB . Cotang. ACB, wo ACB = b die geographische Breite dieses Ortes ist. Wenn man statt der Kugelzone, die sich in nicht zu grofser Breite nach beiden Seiten von B erstreckt, die abgewickelte Kegelzone nähme, so würde man die Meridiane als gerade Linien zeichnen müssen; man erhält aber noch etwas mehr Genauigkeit, wenn allen Parallelkreisen ihre richtige Eintheilung gegeben wird. Dafs diese Zeichnungsart, welche Bonne angegeben und bei mehreren Charten zuerst gebraucht hat[1], den Vorzug besitzt, den Flächenraum in jedem kleinen Theile getreu anzugeben, hat zuerst Albers bemerkt und dann Mollweide umständlich gezeigt[2].

Fig. 19.

Da es hier nicht meine Absicht seyn kann, alle Zeichnungsarten der Landcharten anzugeben, so bemerke ich nur, dafs die Vergleichung einer Kugelzone mit einer ihr nahe gleichen Kegelzone noch zu mehrern Zeichnungsmethoden Veranlassung gegeben hat, unter denen die Murdochsche vorzüglich erwähnt zu werden verdient[3]. Statt ihrer hat Albers eine andere angegeben[4], die jeden schmalen Theil der Kugelzone durch eine gleich

1 Vergl. über sie Puissant supplém. au sécond livre du traité de topographie. Paris 1810.

2 v. Zach's Mon. Corr. XI. 111. und XIII. 144.

3 Ebend. XI. 97.

4 Ebend. XII. 450.

grofse Kegelzone darstellt; von TEXTOR hat gezeigt, wie man ähnliche Betrachtungen für einen darzustellenden langen Streifen benutzen kann, der eine schiefe Lage gegen den Aequator hat, indem man den nach der Hauptrichtung dieses Streifens gezogenen gröfsten Kreis wählt, um an ihm eine Cylinderfläche als berührend anzunehmen und auf diese die Zeichnung so zu beziehn, wie es so eben von der Kegelfläche angedeutet wurde [1].

Alle diese Darstellungen haben den Zweck, die abzubildenden Theile der Kugel so ähnlich, als möglich, darzustellen; sie sind also als besondere Fälle einer höchst allgemeinen Aufgabe anzusehn, die GAUSS aufgelöst hat [2]: *die Theile einer gegebenen Fläche auf einer andern gegebenen Fläche so abzubilden, dafs die Abbildung dem Abgebildeten in den kleinsten Theilen ähnlich wird.* Die von GAUSS gegebene Auflösung umfafst nicht blofs die Fälle, wo das Verhältnifs der Gröfse jedes Theils der Abbildung zu jedem Theile des Abgebildeten ein constantes ist, sondern auch die, wo es nach bestimmten Gesetzen ein veränderliches ist, und die Untersuchung schliefst sich sonach zwar an die unsrige an, geht jedoch in mehr als einer Hinsicht viel weiter. Die von GAUSS erwähnten Beispiele zeigen, in welcher Verbindung die Untersuchung mit dem Zeichnen der Landcharten steht.

Die bisher angeführten Zeichnungsmethoden gingen nicht von einer eigentlich so zu nennenden Projection aus, indem ihr Zweck nicht war, die abzubildenden Gegenden so darzustellen, wie sie einem Auge, das eine gewisse Stelle einnimmt, erscheinen, sondern so, dafs die Entfernungen in ihnen mit möglichster Genauigkeit mit einem und demselben Mafse für alle Entfernungen auf der Charte abgemessen werden könnten. Als eine zur Abbildung kleiner Theile der Erdfläche brauchbare Projection aber verdient doch auch hier die stereographische genannt zu werden, die auf folgende Weise entsteht [3]. Man nimmt den mittelsten Punct der in eine Charte zu bringenden Gegend und zieht von ihr einen Durchmesser der Kugel; auf diesen senk-

---

1 Mon. Corr. XVIII. 185.

2 Schumacher's astron. Abh. 3tes Hft.

3 Zuerst von JOH. WERNER, nachher vorzüglich von MATH. HASE angewandt.

recht legt man eine durch den Mittelpunct der Erde gehende Ebene und zieht nun vom andern Endpuncte des Durchmessers aus nach den einzelnen aufzutragenden Puncten gerade Linien; die Durchschnittspuncte dieser Linien mit jener senkrechten Ebene geben auf dieser Ebene die projicirte Lage der Puncte so an, wie ein am andern Ende des Durchmessers stehendes Auge sie sehen würde. Da diese Projection aber auch für die Darstellung der ganzen Halbkugel gebraucht wird, so komme ich sogleich auf sie zurück.

Was den Gebrauch der Landcharten betrifft, so ist erstlich bei der Abmessung der Längen, wenn diese gröſsere Entfernungen umfassen, auf die aus jeder Constructionsmethode unvermeidlich hervorgehenden Fehler, die gewöhnlich erst gegen die Grenzen der Charte zu erheblich werden, Rücksicht zu nehmen; zweitens auch die Richtung von einem Orte zum andern macht nicht genau auf der Charte den Winkel mit dem Meridiane, den die Abstandslinie auf der Kugel mit ihm macht, und man muſs den statt findenden Fehler nach den Eigenthümlichkeiten jeder Construction berechnen. Was drittens die Berechnung des Inhaltes der Länder betrifft, so ist bei den Entwerfungsarten, die nicht die einzelnen Theile der Kugel in richtiger, proportionaler Gröſse darstellen, auf diese Ungleichheit Rücksicht zu nehmen, aber auſserdem auch eine Schwierigkeit zu bemerken, die selbst bei einer ganz vollkommenen Darstellung statt finden würde. Die genau gezeichneten Grenzen eines Staates nämlich bieten oft so unregelmäſsige Krümmungen dar, daſs eine nach der Landcharte vorzunehmende geometrische Ausmessung nicht wohl möglich ist, und in Beziehung auf diese Schwierigkeit hat von Zach gezeigt, daſs man, bei einer genauen Abzeichnung der Grenzen auf sehr gleichförmigem Papiere, durch ein Abwägen des begrenzten Theiles den Zweck, die Gröſse in Quadratmeilen zu finden, sehr genügend erreicht. Nachdem man nämlich den gröſsten Theil des auszumessenden Landes, so weit es zwischen regelmäſsig gezogenen Streifen auf der Kugel liegt, ausgerechnet hat, schneidet man die auſserhalb dieser Kreise noch übrigen, mit unregelmäſsigen Grenzen umgebenen Stücke aus, wägt diese Stücke ab und vergleicht ihr Gewicht mit dem Gewichte der in eben der Gegend der Charte liegenden Quadratgrade, wodurch man, bei gehöriger Sorgfalt, den Zweck so genau, als es die Genauigkeit der Zeichnung erlaubt, erreichen

kann [1]. Von Zach bemerkt übrigens, daſs man bei der Berechnung des Inhalts nach geometrischen Regeln die sphäroidische Gestalt der Erde berücksichtigen müsse, deren Einfluſs in der Zeichnung der Charten gewöhnlich nicht merklich ist [2]. Bei Charten von erheblicher Gröſse kann indessen eine Rücksicht hierauf, selbst bei der Zeichnung, nöthig werden.

II. Darstellung einer ganzen Halbkugel der Erde.

Man nennt diese Abbildungen Planisphären, Planiglobien (*Planisphaerium, Planiglobium;* Planiglobe) und gründet sie theils auf Projectionen, theils auf andere, eine gewisse Uebereinstimmung mit der wirklichen Lage gebende Zeichnungsarten. Bei den Projectionen nimmt man eine bestimmte Lage des Auges und eine bestimmte Lage der Projectionsebene an, zieht vom Auge gerade Linien nach allen abzuzeichnenden Puncten und trägt die Durchschnittspuncte dieser Linien mit der Projectionsebene als die Projectionen jener Puncte in die Charte ein. Unter diesen verdienen die *stereographische* Projection, die schon Hipparch kannte [3], und die *orthographische* Projection vorzüglich erwähnt zu werden.

Bei der *stereographischen* Projection denkt man sich das Auge in demjenigen Puncte der Kugeloberfläche, welcher dem mittleren Puncte der darzustellenden halben Kugelfläche gerade gegenüber steht; die Projectionsebene aber ist senkrecht gegen die vom Auge nach dem Mittelpuncte gezogene Linie und geht durch den Mittelpunct der Kugel. Ist diese Ebene die Ebene des Aequators, so steht das Auge im Pole und der andere Pol ist in der Mitte der Projection, die dann *Polarprojection* heiſst; geht die Projectionsebene durch die Pole, so erscheint in der *Aequatorealprojection* ein Punct des Aequators in der Mitte der Projection, wie auf den Planiglobien, deren eine America, die andere die sogenannte Alte Welt vorstellt; ist die Mitte der Projection irgend ein anderer Ort, so heiſst sie eine *Horizontalprojection.*

---

1 v. Zach's Mon. Corr. I. 169.
2 Ebend. I. 185.
3 Ebend. II. 67.

Die Hauptregeln zur Construction dieser Projection lassen sich so übersehn.

Fig. 20. 21. Es stelle ABDE die Erdkugel, B, E ihre Pole vor und es sey eine Aequatorealprojection zu entwerfen. Das Auge stehe in A, so ist D der Punct, welcher in der Mitte C der Projectionstafel BFE erscheint, BDE der Meridian, der durch die gerade Linie BCE vorgestellt wird. Fängt man an, die Projection zu zeichnen, so ist offenbar, dafs der Meridian BFE, welcher die Projectionstafel begrenzt, als Kreis in bfe erscheint und dafs die auf ihm abgetheilten Breitengrade 15°, 30°, 45° u. s. w. durch eine Eintheilung des Kreises bfe in gleiche Theile richtig angegeben werden. Ebenso leicht erhellt, dafs be die übertragene BE ist, die den mittlern Meridian BDE vorstellte, und wenn man BDE in seine Grade eintheilt, von jedem Theilungspuncte G, H u. s. w. aus aber die Linien GA, HA u. s. w. zum Auge zieht und ihre Einschnittspuncte g, h... in den Durchmesser BE, das ist in die Projectionstafel, bemerkt, so erhält man, indem man Cg, Ch nach dg, dh überträgt, in g, h das Bild der Puncte G, H u. s. w. Kreisbogen, die durch die mit 15°, 15°, 15° oder 30°, 30°, 30° bezeichneten Puncte gehen, stellen die Parallelkreise vor. Auch das läfst sich leicht übersehn, dafs man CF eben so eintheilen mufs, um die Abtheilungen des Quadranten DF des Aequators aufzutragen, wie man CB eintheilte, um die Theile des Quadranten BD zu erhalten; trägt man also diese Abtheilungen auf fl auf und zieht durch jeden Theilungspunct einen zugleich durch beide Pole b, e gehenden Kreisbogen, so erhält man die Meridiane. In die so gezeichneten Vierecke lassen sich die Orte ziemlich leicht eintragen.

Aehnliche Betrachtungen führen zu der Zeichnung der *Polarprojection*.

Die *orthographische* Projection setzt das Auge als unendlich entfernt voraus, oder, was dasselbe ist, man projicirt alle Puncte der Kugel durch parallele, auf die Projectionsebene senkrechte Linien auf diese. Will man also eine Polarprojection orthographisch entwerfen, so fällt der Pol in die Mitte, der Aequator in den Umfang des Kreises, der diese Projection vorstellt, alle Parallelkreise erscheinen als Kreise und zwar als Kreise, deren Halbmesser = r. Cos. der Breite ist; die Meridiane erscheinen als gerade Linien, die vom Mittelpuncte ausgehend eben die

Winkel mit einander machen, wie die Ebenen der Meridiane. Verlangt man eine orthographische Projection, wo irgend ein anderer Punct als Mittelpunct der Halbkugel angenommen wird, so erhält man die Meridiane und Parallelkreise als Ellipsen dargestellt, indem ihre gegen die Projectionsebene geneigten Ebenen die kreisförmigen, schiefen Schnitte elliptischer Cylinder, die auf der Projectionsebene senkrecht stehen, vorstellen. Es scheint mir der hier nöthigen Kürze nicht angemessen, hierbei länger zu verweilen, und ich erwähne daher auch die Centralprojection nur mit wenigen Worten. Sie entsteht als Zeichnung auf einer die Kugel berührenden Ebene durch Linien, die von dem im Mittelpuncte der Kugel gedachten Auge ausgehen, und stellt die Erdoberfläche also so dar, wie ein Auge im Mittelpuncte derselben sie auf jene berührende Ebene überträgt.

Unter denjenigen Darstellungen einer ganzen Halbkugel, die nicht perspectivisch sind, verdienen besonders die von Lambert[1] und von G. G. Schmidt[2] vorgeschlagenen erwähnt zu werden, die sich auch auf Kugelabschnitte anwenden lassen. Bei beiden ist jeder Theil der dargestellten Fläche seinem Bilde an Inhalt proportional, oder, wenn man sich zuerst eine Zeichnung auf einer Kugel vom Halbmesser r vorstellt, so sind in der ebenen Zeichnung alle Flächentheile eben so grofs, als sie auf dieser Kugel waren.

Da die Gröfse des Flächeninhalts einer Halbkugel vom Halbmesser $= r$ durch $2\pi r^2$ ausgedrückt wird, so ist ein Kreis vom Halbmesser $= r\sqrt{2}$ an Flächeninhalt jener Halbkugel gleich und wenn man die gegebene Linie $= r$ in 859,5 gleiche Theile theilt, so bedeuten diese Theile auf jener Zeichnung Meilen. Um diesen Kreis zuerst für eine Polarprojection so zu theilen, dafs die Räume zwischen den Parallelkreisen eine richtige Gröfse erhalten, mufs man überlegen, dafs der Inhalt der Fläche eines Kugelsegments dem Quadrate der Sehne, die von der Mitte bis zur Grenze des Segments gezogen wird, proportional ist. Ist also ABD ein Kreis vom Halbmesser $= r$, OPQ der Kreis vom Halbmesser $= r . \sqrt{2}$, so theilt man AB in gleiche Theile, zum Beispiel von 15 zu 15 Graden, zieht A 15, A 30, A 45 und zeichnet mit Halbmessern, die diesen Sehnen gleich sind, die (Fig. 22.)

1 Lambert's Beiträge III. 106.

2 Mon. Corr. XII. 152.

mit 15°, 30° u. s. w. bezeichneten Kreise. Auf diese Weise ist der Entwurf der Halbkugel OPQ in Flächenräume getheilt, die an Inhalt eben so grofs sind, als die entsprechenden Zonen auf der Kugel AD. Dafs die vom Mittelpuncte aus gezogenen geraden Linien KO, KR, KP die Meridiane vorstellen, erhellt leicht. Hier ist also die Fläche der Halbkugel in gleiche Theile, welche der wahren Flächengröfse proportional sind, getheilt; aber weder die Parallelkreise, noch die Meridiane haben ihre richtige Gröfse, sondern statt dafs der Umfang des Parallelkreises in der Breite $= b$ seyn sollte $= 2\pi \,.\, r \,.\, \text{Cos.}\, b$, ist er hier $= 2\pi \,.\, r \,.\, 2\,\text{Cos.}\ (45° - \frac{1}{2}b)$, und statt dafs der vom Pole bis zur Breite $= b$ gemessene Theil des Meridians wirklich $= \frac{2r\pi\,(90° - b)}{360°}$ ist, erscheint er hier $=$ Sehne $(90° - b)$ $= 2r \,.\, \text{Sin.}\ (45° - \frac{1}{2}b)$.

Für eine Aequatorealprojection sind die Regeln folgende.

Um die Kugel ABD vom Halbmesser $= r$ darzustellen, zeichnet man wieder den Kreis APBQ vom Halbmesser $= r \,.\, \sqrt{2}$, bezeichnet nun P, Q als Pole, AB als den Aequator. Man theilt CB in gleiche Theile und zeichnet die Meridiane genau elliptisch. Es ist nämlich bekannt, dafs, wenn $CD = \frac{1}{2}CB$, auch der Inhalt der halben Ellipse PDQ $=$ dem Inhalte des halben Halbkreises ist und dafs der Raum PDQP den Raum bis zum 45sten Meridiangrade vorstellt. Die Parallelkreise kann man[1] durch Sehnen dem Aequator AB parallel vorstellen, mufs sie aber so bestimmen, dafs die Stücke der Zeichnung vom Pole an bis an den Parallelkreis der Oberfläche des darzustellenden Kugelabschnittes gleich sind. Da nun im Kreise der Inhalt des zwischen Parallelen enthaltenen Stückes AHKB

Fig. 23.

$= CB^2 \,.\, \varphi + CB^2 \,.\, \text{Sin.}\,\varphi\ \text{Cos}\ \varphi = \frac{1}{2}CB^2\ (2\varphi + \text{Sin.}\, 2\varphi)$ ist, wenn $BK = \varphi$, so mufs, damit dieses Stück der Zone bis zur Breite $= \mu$ gleich sey, $\frac{1}{2}CB^2 \,.\, (2\varphi + \text{Sin.}\, 2\varphi) = r^2 \,.\, \pi \,.\, \text{Sin.}\, \mu$ seyn, weil nämlich auf der Kugel vom Halbmesser $= r$ die halbe Zone vom Aequator bis zur Breite $= \mu$ durch $\pi \,.\, r \,.\, r\,\text{Sin.}\, \mu$ gegeben ist. Jene Gleichung ergiebt, da $\frac{1}{2}CB^2 = r^2$ ist, den Werth von φ und man kann daher durch Eintheilung des Halbmessers CP die Lage der Parallelkreise finden; die Rechnung

1 Mon. Corr. XII. 152.

zeigt, dafs die Theilungspuncte L folgenden Theilen des Halbmessers entsprechen:

für μ	ist CL	für μ	ist CL
10°	0,1368	50°	0,6512
20°	0,2720	60°	0,7624
30°	0,4040	70°	0,8619
40°	0,5309	80°	0,9454
		90°	1,0000.

Diese Vorschrift scheint die angemessenste zu seyn, obgleich man, da die Verhältnisse der Distanzen nicht den wahren Verhaltnissen angemessen sind, auch andere Vorschriften geben kann, je nachdem man sich vorsetzt, andere Bedingungen zu erfüllen.

III. Seecharten.

Wenn man eine Charte von mäfsigem Umfange so gezeichnet hat, dafs alle Meridiane unter sich parallel und die Parallelkreise auch unter sich parallel sind, die Längengrade aber auf der ganzen Charte dasjenige Verhältnifs zu den Breitengraden haben, was für die Mitte der Charte genau statt findet, so hat man diejenige Art von Charten, welche die Schiffer *Plancharten* nennen. Da der Schiffer gewohnt ist, längere Zeit nach demselben Compafsstriche zu segeln und dann auf der in die Charte eingetragenen Richtung die durchlaufene Entfernung aufzuzeichnen, so kann er sich dieser Charte nur für sehr mäfsige Entfernungen bedienen. Gingen nämlich von einerlei Puncte, zum Beispiel unter 45 Grad Breite, zwei Schiffe so aus, dafs das eine beständig nach Nordost, das andere nach Südost steuerte, so würden beide gewifs 60 Meilen in der Länge fortgerückt seyn, wenn sie 60 Meilen in der Breite fortgekommen sind oder ihre Breite um 4 Grade verändert haben. Diese 60 Meilen betragen nach dem Mafse der Längengrade unter 45 Graden der Breite beinahe 5° 40′ und um so viel würden beide Schiffer ihre geographische Länge geändert zu haben glauben; aber da der nördlich Schiffende zu immer kleinern Längengraden kommt, der südlich Schiffende zu immer gröfsern, so hat jener in Wahrheit seine Länge mehr verändert, dieser dagegen weniger, und sie würden, selbst bei dieser mäfsigen Entfernung, ihre Länge aus der Charte um etwa $\frac{1}{4}$ Grad unrichtig abnehmen.

Wollte der Schiffer sich einer andern Charte bedienen, auf welcher die Längengrade abnehmen, so würde ihm dieses unbequem seyn, indem er da nicht geradezu den Richtungswinkel seines Curses einzeichnen könnte. In diesem Falle würde er nämlich, weil die Meridiane nicht parallel sind, eine gekrümmte Linie zeichnen müssen, um seinem immer nach gleichem Windstriche gehenden Curse den immer gleichen Winkel gegen den Meridian zu geben.

Die Curve, welche ein Schiff auf dem Meere durchliefe, wenn es immer unter gleichen Winkeln gegen den Meridian oder nach dem immer gleichen Windstriche fortginge, ist diejenige, die man die *Loxodromische Curve* (Linie des schiefen Laufes) nennt, und es ist offenbar, dafs sie, wie eine Spirallinie, in unzähligen Windungen um den Pol der Erde herumläuft, sobald die Richtung nicht genau mit dem Meridiane übereinstimmt[1]. Diese Linie, die auf unsern gewöhnlichen Landcharten sich als krumme Linie darstellen würde und die offenbar von dem zwischen zwei Puncten in ihr gezogenen gröfsten Kreise abweicht, verlangt der Schiffer in seine Charte als gerade Linie einzuzeichnen, damit er nur, wenn sein Lauf einen Winkel von 45 Graden oder 60 Graden u. s. w. mit dem Meridiane macht, eben diesen Winkel auch in der Charte aufzutragen brauche. Damit dieses geschehn könne, müssen alle Meridiane seiner Charte parallel seyn und folglich werden alle Längengrade in niederen und in höheren Breiten gleich grofs ausfallen. Damit aber dennoch in jeder einzelnen Gegend das Verhältnifs der Längengrade gegen die Breitengrade sich richtig darstelle, müssen die Breitengrade ungleich grofs, gegen die Pole immer gröfser werden. Diese Charten, die unter dem Namen von Mercator's Charten bekannt sind[2], heifsen daher mit Recht Charten mit wachsenden Breitengraden. Da in der Breite von 25° 50′ der Längengrad nur $\frac{9}{10}$ des Breitengrades ist, so mufs hier der Breitengrad = $\frac{10}{9}$ derjenigen Gröfse haben, die ihm unter dem Aequator zukommt; unter 36° 52′ mufs der Breitengrad = $\frac{5}{4}$, unter 45° 34′ mufs er = $\frac{10}{7}$, unter 53° 8′ mufs er

1 Brandes höhere Geometrie. II. S. 240.

2 Mercator zeichnete solche Charten zuerst um 1550. Wright gab ihre Theorie genauer an. Certain errors in Navigation corrected. London 1657.

$= \frac{1}{4}$ seyn und so weiter. Wenn man in eine so gezeichnete Charte, in welche die Länder und Meere gehörig eingetragen sind, von einem gegebenen Orte eine gerade Linie unter bestimmtem Winkel gegen den Meridian zieht, so trifft diese alle die Orte, welche der Schiffer erreichen würde, indem er immer seinen Lauf, unter diesem Winkel gegen den Meridian gerichtet, beibehielte.

Was das Eintragen der zurückgelegten Wege in diese Charten betrifft, so versteht es sich schon von selbst, daſs es nicht nach einem immer gleichen Maſsstabe geschehn darf. Je weiter man gegen die Pole kommt, desto gröſser wird ein auf der Kugel selbst gleicher Raum dargestellt und der veränderliche Maſsstab muſs sich danach richten. Da aber der Schiffer seine geographische Breite oft und mit Leichtigkeit bestimmt, so macht diese Ungleichheit im Längenmaſse ihm keine Schwierigkeit; er weiſs, daſs er denjenigen Punct erreicht hat, wo die Richtung seines Curses denjenigen Breitengrad trifft, auf welchem er sich, seiner Beobachtung nach, befindet.

Um diese Charten richtig zu zeichnen, fängt man damit an, alle Meridiane parallel und gleich weit entfernt aufzutragen. Erstreckt sich die Charte bis zum Aequator, so zieht man an der Stelle, wo dieser seinen Platz haben soll, eine gegen die Meridiane senkrechte Linie, trägt auf den Meridianen die Länge des ersten Breitengrades, des zweiten Breitengrades, des dritten Breitengrades und so weiter nach der reducirten Gröſse, die nahe genug $=$ Sec. $\frac{1}{2}°$, $=$ Sec. $1\frac{1}{2}°$, $=$ Sec. $2\frac{1}{2}°$ u. s. w. ist, auf und erhält so das Netz der ganzen Charte. Soll sie sich nicht bis zum Aequator erstrecken, so gilt ein ähnliches Verfahren. Bis sehr nahe an den Pol kann man die Zeichnung nicht fortführen, da die Grade der Breite für den 80sten Grad schon über 6mal so groſs als die Längengrade werden und gegen den Pol zu immer schneller wachsen [1].

Geschichtliche Notizen.

Daſs man schon in uralten Zeiten eine Darstellung der Länder versucht habe, erhellt aus der Bibel [2]. Unter den Griechen

---

1 Handbuch der Schifffahrtskunde. Hamburg 1819. S. 143. 207.

2 S. Josua Cap. XVIII. v. 4.

soll Anaximander zuerst Charten von den bekannten Ländern verfertigt haben[1].

Die auf unsere Zeiten gekommene Zeichnung aus viel späterer Zeit, welche unter dem Namen der Peutingerschen Tafel bekannt ist, kann eigentlich nicht eine Landcharte heifsen, da sie gar nicht die Bestimmung hat, die Länder in ihrer richtigen Gestalt darzustellen[2].

Ptolemaeus giebt mehrere Zeichnungsmethoden für Landcharten an und verbessert seinen Vorgänger Marinus; zu des Ptolemaeus Geographie hat der Alexandriner Agathodaemon die Charten gezeichnet[3].

Von denen, die sich nach der Wiederherstellung der Wissenschaften vorzüglich um die Landcharten verdient gemacht haben, führt Gehler folgende an. Sebastian Münster[4], Ortelius[5], Gerhard Mercator, dessen Atlas Jodocus Hond herausgab[6]. Wilh. Jansson Blaeu und Johann Blaeu lieferten einen aus 616 Charten bestehenden Atlas. Die Hond'sche Officin, die nach und nach an Jansson Waesberge, Pitt, Swart, Peter Schenk und Gerard Valk kam, hat sich manche Verdienste um die Verbesserung der Charten erworben. Später hat sich Joh. Bapt. Homann und seine Nachfolger ebenfalls viele Verdienste erworben. Unter den ältern Chartenzeichnern haben sich Visscher, Dankerts, de Witt, Kitchin, d'Anville, Vaugondy, Buache, Bellin ausgezeichnet.

Die Zahl derer, welche sich in den letzten Jahren auf eine rühmliche und ausgezeichnete Weise mit der Vervollkommnung der Landcharten beschäftigt haben, ist so grofs, dafs sie hier nicht angeführt werden können.

Von den Erfindern der merkwürdigsten Zeichnungsmethoden ist oben das Wichtigste angeführt worden. Aber als ein vollstän-

---

1 Diog. Laërt. II. 2. Plinii hist. nat. VII. 56. Von andern Bemühungen der Alten s. Fabricii bibl. gr. IV. 2. 14. Cellarii notit. orb. ant. pag. 4.

2 Tabula Peuting. itineraria, ed. Scheyb. Vindob. 1753.

3 Mollweide über des Ptol. Mappirungskunst. v. Zach's Mon. Corr. XI. 319. 504.

4 Cosmographia. Basil. 1550.

5 Theatr. orbis terr. Antverp. 1570.

6 Atlas Gerh. Mercatoris. Amst. 1604.

diges Buch, welches alles Wichtige umfafst, was hierher gehört, verdient Joh. Tob. Mayer's Werk genannt zu werden: Vollständige und gründliche Anweisung zur Verzeichnung der Land-, See- und Himmelscharten. 4te Aufl. Erlangen 1828. (Der 4te Theil von Mayer's practischer Geometrie.) Es giebt theoretische Entwickelungen und praktische Anleitungen über alle hierher gehörigen Gegenstände. Ein neueres Werk, das ich noch nicht selbst gesehn habe, ist: Delangeard observations on geographical projections, or an examination of the principal methods of constructing maps. *B.*

Landtromben, s. Wind.

Lebenskraft.

Lebensprincip; *Vis vitalis;* Force vitale, Faculté vitale, Vitalité; *Vital power, vital faculty, Vitality.*

Die Physik, indem sie die in der Natur wirksamen Gesetze aufzufinden strebt, beschränkt sich zunächst nur auf diejenigen Kräfte, welche die Veränderungen unorganischer Körper bedingen, überläfst dagegen alles dasjenige, was zur Lebensthätigkeit gehört, der Physiologie. So wie es aber keine scharfe Grenze zwischen organischer und unorganischer Materie giebt und aufserdem Pflanzen und Thiere kaum mit völliger Bestimmtheit von einander gesondert werden können, so lassen sich auch die Kräfte der leblosen und der lebenden Natur nicht mit absoluter Schärfe trennen und müssen daher die letzteren bei den allgemeinen Untersuchungen der Naturgesetze schon deswegen berücksichtigt werden, weil einige Physiologen keine eigenthümlichen Kräfte in lebenden Wesen annehmen wollten, während andere einen gewissen Grad des Lebens und somit auch der Lebensthätigkeit allen Körpern beizulegen geneigt waren. Im Allgemeinen wird jedoch das wirkliche Vorhandenseyn des Lebens und besonderer, dieses bedingender Kräfte nicht in Abrede gestellt, weswegen der Physiker nicht wohl umhin kann, diese letzteren zu berücksichtigen und demjenigen nachzuforschen, wodurch sie sich von den Kräften der leblosen Natur unterscheiden.

Um eine sonst nur zu leicht mögliche Unbestimmtheit der Begriffe zu vermeiden, muſs zuvor festgesetzt werden, was man unter *Leben* zu verstehen habe[1]. Wenn man nicht allen Körpern Leben beilegt, wodurch nur Verwirrung entstehen kann, und, statt scharfsinniger Unterscheidung auffallend verschiedenartiger Functionen, solche Erscheinungen als identisch gesetzt werden, zwischen denen kaum entfernte Aehnlichkeit statt findet, so läſst sich ein *eigentliches*[2] Leben nur solchen Körpern beilegen, welche mit Organen versehen sind, und selbst auch diesen nur so lange, als ihre Organe sich thätig beweisen. Hiernach kann also zuerst keinem Körper Leben beigelegt werden, wenn er nicht mit Organen versehn ist, und zweitens auch in diesem Falle nur so lange, als letztere ihre eigenthümliche, von ihnen sogenannte organische Thätigkeit beibehalten; denn ein Thier oder eine Pflanze heiſsen todt, sobald die letztere sie verlassen hat.

Das Vorhandenseyn und die Thätigkeit von Organen, welche im Allgemeinen die Entstehung, Erhaltung und Fortpflanzung bedingen, geben also die unterscheidenden Kennzeichen solcher Körper ab, in denen wir ein Leben und durch gewisse eigenthümliche Thätigkeiten sich äuſsernde Lebenskräfte annehmen; wo sie überhaupt fehlen, heiſst der Körper absolut todt, wo sie nicht mehr thätig sind, gleichfalls todt oder erstorben.

Aus dem Unterschiede der durch Organe belebten Körper und solcher, denen alle Lebensthätigkeit fehlt, ist ein anderer, noch weiter ausgedehnter hervorgegangen, wonach sie in *organische* oder *unorganische* zerfallen. Organische Körper oder Materien heiſsen solche, die durch belebte Wesen während der Dauer ihrer Lebensthätigkeit entstanden oder vielmehr aus ihren einfachen Bestandtheilen zusammengesetzt sind, alle andern dagegen werden unorganische genannt. Die Unterschiede belebter oder unbelebter organischer Körper und der allezeit unbelebten unorganischen lassen sich auf das Bestimmteste nachweisen.

Der erste Hauptunterschied beider zeigt sich in der Art ihrer Entstehung und in der hierbei angenommenen Gestalt. Alle

---

1 Vergl. Treviranus Biologie. Th. I. S. 39.

2 Eine uneigentliche, eine *quasi* Kraft, wie die quasi Götter bei Cicero, anzunehmen, ist wohl allgemein unzulässig.

organischen Körper wachsen von Innen eben durch die Thätigkeit eigenthümlicher Organe und ihre Formen sind zwar regelmäfsig, mitunter selbst geometrisch construirbar[1], keineswegs aber geben sie im lebenden Zustande gleichmäfsig gestaltete regelmäfsige Körper und überhaupt sind von allen organischen Materien nur die einfachsten Verbindungen, namentlich die Säuren, krystallisationsfähig. Alle unorganischen (nie belebten, absolut todten) Körper dagegen wachsen durch Hinzukommen neuer Bestandtheile von Aufsen, durch eine Art von Aggregation, und zugleich in der Art, dafs sie eine regelmäfsige Gestalt annehmen (Krystallbildung), welche geometrisch aus der Hypothese einer nach constanten Gesetzen erfolgenden Auflagerung gleichgeformter Bestandtheile construirt werden kann[2]. Diese Krystallisirbarkeit ist den meisten, vermuthlich allen unorganischen Körpern eigen und zeigt sich daher allgemein, wenn sie fest werden und dabei das Bestreben einer regelmäfsigen Auflagerung ihrer Bestandtheile nicht durch anderweitige Bedingungen gehindert wird. Die sämmtlichen regelmäfsig gebildeten, unorganischen Naturkörper lassen sich daher mechanisch (zum Theil auch durch Auflösungsmittel) so zerlegen, dafs die Theile dem Ganzen vollkommen ähnlich sind oder diejenigen einfacheren Gestalten zeigen, deren Vereinigung die Form der zerlegten erzeugen mufste[3].

Ein zweiter Unterschied unbelebter unorganischer Körper und der organischen, welche belebt oder der Belebung fähig oder durch Lebensthätigkeit entstanden sind, zeigt sich in der Quantität und dem quantitativen Verhältnisse ihrer constituirenden Bestandtheile. Die unorganischen Körper sind nämlich ent-

---

1 Einen Versuch von Vieth, die Formen organischer lebender Körper geometrisch zu construiren, findet man in G. LIII. 225.

2 Vergl. *Krystall*.

3 Einige Naturphilosophen lassen auch die Krystalle durch ein inneres Leben, einen Bildungstrieb u. s. w. entstehn. Will man Anziehung, chemische Verwandtschaft und sonstige physische Kräfte insgesammt unter den gemeinsamen Begriff des Lebens bringen, so kann man hierdurch zuletzt den Unterschied zwischen einem Sandsteine und einem Menschen aufheben, allein dennoch zeigt der Augenschein jedem Unbefangenen in ersterem eine blofse Aufhäufung ähnlicher Theile, in letzterem aber ein Wesen mit höherem Organismus versehen.

weder einfache, d. h. solche, die bis jetzt durch kein Verfahren in ihre Bestandtheile zerlegt werden konnten, oder zusammengesetzte. Sind sie einfache, so nehmen alle in fester Gestalt darstellbaren eine mehr oder minder kenntliche regelmäſsige Gestalt an, sie geben Krystalle, wie der Schwefel, das Iod und die meisten, vermuthlich alle Metalle, keiner von diesen zeigt aber jemals eine solche organische Lebensthätigkeit, wie wir diese bei den Erzeugnissen des Thier- und Pflanzenreichs wahrnehmen. Sind sie zusammengesetzte, so bestehen sie insgesammt aus binären Verbindungen oder lassen sich sämmtlich auf solche zurückbringen, wobei dann noch auſserdem die constituirenden Bestandtheile nach gewissen bestimmten quantitativen Verhältnissen vereinigt sind[1]. Die Schwefelsäure z. B. besteht aus Sauerstoff und Schwefel und ähnliche Verbindungen sind alle Oxyde und viele Säuren; das schwefelsaure Kali besteht zwar aus 3 Elementen, nämlich Kalium, Schwefel und Sauerstoff, allein genau genommen ist dasselbe nur eine Vereinigung zweier binären Verbindungen, nämlich Kalium mit Sauerstoff und Schwefel mit Sauerstoff, wobei dann noch obendrein ein constantes Verhältniſs der Quantitäten des Sauerstoffes in beiden Verbindungen statt finden muſs. Der krystallisirte Alaun besteht aus 5 Elementen, nämlich aus Alumium, Kalium, Schwefel, Sauerstoff und Wasserstoff, ist aber eigentlich eine binäre Verbindung der vierten Ordnung, nämlich aus Alumium, Kalium, Schwefel und Wasserstoff, wovon jedes mit der proportionalen Menge Sauerstoff verbunden ist. Alle organischen Körper dagegen, sowohl die belebten als auch die des Lebens beraubten, sind ternäre, quaternäre u. s. w. Verbindungen, in denen sich nicht weniger als 3 Elemente unmittelbar vereinigt finden. So sind im Alkohol 2 Mischungsgewichte Kohlenstoff, 3 Mischungsgewichte Wasserstoff und 1 Mischungsgewicht Sauerstoff enthalten, wovon der Sauerstoff ebensowohl dem Kohlenstoffe als dem Wasserstoffe, der Kohlenstoff ebensowohl dem Sauerstoffe als dem Wasserstoffe und der Wasserstoff eben so gut dem Kohlenstoffe als dem Sauerstoffe angehört[2].

---

1 Vergl. *Verwandtschaft.*

2 Berzelius in Ann. of Phil. IV. 323. Andere Chemiker haben hiergegen Einwendungen gemacht, allein diese lassen sich füglich beseitigen.

Ein dritter Unterschied belebter organischer und unorganischer Körper besteht darin, dafs die letzteren, wenn auch nicht in gleicher Gröfse, doch von der nämlichen Gestalt und Beschaffenheit aus ihren Bestandtheilen künstlich zusammengesetzt werden können, so wie die Natur sie liefert, dafs die Zusammensetzung belebter organischer Körper aus ihren Elementen aber der Kunst ganz unmöglich und selbst die Darstellung der durch Lebensorganismus erzeugten Verbindungen bis jetzt unerreichbar war. Die unorganischen sind nämlich entweder einfache Substanzen, oder durch chemische Affinität vereinte und durch Vermehrung von Aufsen her gebildete, die organischen dagegen ternäre und mehrfache Verbindungen, welche den in belebten Körpern wirksamen Kräften ihre Vereinigung verdanken. Auch diese, wenn gleich unbelebt, als Zucker, Stärkemehl, thierisches und vegetabilisches Fett, Muskelfleisch, Blut u. s. w., lassen sich durch Kunst nicht erzeugen [1] und man vermag blofs eine höhere Verbindung, z. B. Stärkemehl, in eine niedere, das Zucker, oder letzteres in eine noch einfachere, z. B. die Kleesäure, zu verwandeln.

Nur in ternären und höheren Verbindungen, nicht aber in binären oder solchen, die sich auf diese zurückbringen lassen, zeigt sich Leben; die Natur, so wenig sie sonst in bestimmte Classen abtheilt, hat hier eine genaue Grenze gezogen. Die Aeufserungen des Lebens finden nur statt vermittelst gewisser Organe, welche von den kenntlichsten bis zu den feinsten, dem Auge des Beobachters entschwindenden abnehmen und nach ihrer Menge und Feinheit die höheren Organismen von den niederen, die feiner organisirten Wesen von den gröber organisirten unterscheiden lassen. Die Hauptclassen der durch diese Or-

---

1 Die Kleesäure steht anscheinend mit diesen Sätzen im Widerspruche, indem sie als organischer Körper aus 2 Mischungsgewichten Kohlenstoff und 3 Mischungsgewichten Sauerstoff bestehen soll, mithin eine binäre und doch organische Verbindung ist und aufserdem durch Kunst erzeugt werden kann. Allein die aufgestellten Gesetze sind anderweitig so vielfach bestätigt und das Verhalten dieser einzigen Substanz ist noch zu wenig mit absoluter Gewifsheit aufgefunden, als dafs man hiernach das Ganze aufzugeben geneigt seyn sollte. Endlich wird auch die Kleesäure künstlich aus Zucker, also einem organischen Körper durch die Einwirkung der Salpetersäure erzeugt. S. L. Gmelin's Handbuch der Chemie. Th. II. Abth. 1. i. A.

gane bedingten Lebensfunctionen sind die Erzeugung und die Ernährung [1], wozu bei den höheren Organismen noch die Erhaltung gesetzt werden kann; eine tiefer eingehende Untersuchung dieser Functionen bildet das Gebiet der Physiologie. Die Erzeugung geschieht bei den höheren Organismen durch den belebten Samen, bei den niederen fällt sie zuweilen mit der Ernährung zusammen, indem ein von einem belebten organischen Körper getrennter Theil unter gegebenen Bedingungen fortwächst und ein neues Individuum bildet. Bei den niederen Organismen ist ferner die Ernährung zugleich einzige Bedingung der Erhaltung, bei den höheren kommen jedoch noch eigenthümliche, hierzu nothwendige Functionen hinzu, namentlich bei den Thieren das Athmen, die Hautausdünstung u. s. w. Das Leben ist ferner durch eine Menge Abstufungen gesteigert, insofern es namentlich bei den Pflanzen oft in den einzelnen Theilen derselben besteht, welche dann für sich ernährt fortwachsen, bei den Thieren aber durch die Zusammenwirkung der gesammten Organe bedingt wird. Man darf hiernach nicht füglich einzelnen Theilen der thierischen Körper eigentliches Leben beimessen [2], obgleich eine gewisse Lebensreizbarkeit noch nach dem Tode sowohl im ganzen thierischen Körper, als auch in einzelnen Theilen desselben fortdauert, wie sich in den unwillkürlichen Zuckungen der Muskeln zeigt, welche durch mechanische oder chemische Reizmittel, insbesondere aber durch den Galvanismus erzeugt werden.

Dafs die das Leben bedingenden Thätigkeiten der Organe sich nicht auf die anderweitig bekannten physikalischen und chemischen Kräfte zurückbringen lassen, geht schon daraus unverkennbar hervor, dafs organische Verbindungen durch diese nicht erzeugt werden können; aber es giebt noch aufserdem eine Menge Beweise hierfür [3]. Dabei versteht sich von selbst, dafs auch die belebten Körper den allgemeinen Naturgesetzen, z. B. der Anziehung, der chemischen Verwandtschaft u. s. w., folgen müssen, allein es zeigen sich bei ihnen noch aufserdem

1 Vergl. Th. Young Lectures on Nat. Phil. I. p. 723 ff.

2 Blumenbach de vi vitali sanguini neganda, vita autem propria solidis quibusdam corp. hum partibus adserenda curae iteratae. Gott. 1795. C. W. Hufeland's Ideen uber Pathogenie u. s. w. Jen. 1795. 8.

3 S. Treviranus Biologie IV. 631.

Thätigkeiten, welche sich auf diese nicht zurückführen lassen, wie z. B. das Aufsteigen des Saftes in Pflanzen auf die Capillarität, die Bildung des Chylus auf den Chemismus; vielmehr wird die Wirksamkeit der rein physischen Kräfte vielfach durch die organische Thätigkeit bedingt und selbst aufgehoben, wie namentlich die der Schwere im Kreislaufe des nach dem Gehirne aufsteigenden Blutes, der Einfluſs der Wärme in der constanten Temperatur thierischer Körper u. s. w. Es ist somit wohl über allen Zweifel erhaben, daſs die Lebensfunctionen durch eigenthümliche Kräfte bedingt werden, und hierüber waren die Physiker und Physiologen, mindestens der Mehrzahl nach, allezeit einverstanden [1], aber die Schwierigkeit lag darin, den eigentlichen Sitz und die Beschaffenheit, kurz das Wesen dieser Kräfte aufzufinden.

Man pflegt diejenige Kraft, welche die Erscheinungen des vegetabilischen und thierischen Lebens erzeugt und bedingt, durch den Ausdruck *Lebenskraft* zu bezeichnen, und weil jedes lebende Individuum ein Ganzes ausmacht, dessen sämmtliche Lebensfunctionen nicht bloſs einander ähnlich, sondern auch wechselseitig bedingt sind, so war man meistens geneigt, nur eine einzige Lebenskraft anzunehmen und diese durch die Eigenthümlichkeit der verschiedenen Organe nebst deren einzelner Bestimmung modificirt zu betrachten. In einer lebenden Pflanze z. B. kann man nur eine einzige, ihr Leben bedingende Kraft annehmen, welche sich dann aber verschieden äuſsern muſs in der Ausscheidung des Saftes aus dem nährenden Boden und der Assimilirung desselben zur Bildung der verschiedenen Pflanzentheile u. s. w., und auf ähnliche Weise könnte die nämliche Potenz als Ursache des Blutumlaufs, der Verdauung, der Respiration u. s. w. angesehn werden. Verschiedene Physiologen glaubten dieses Lebensprincip in der einen oder der andern bekannten physikalischen Potenz zu erkennen, namentlich beim Aufkommen des antiphlogistischen Systems im Sauerstoff [2], allein

1 Vergl. Kant in Berl. Monatsschr. 1796. Dec. C. W. Hufeland Pathologie, zu academ. Vorlesungen. 1r Bd. Pathogenie. Jena 1799. S. 1 ff.

2 Girtanner in Gren's Journ. III. S. 507. Ackermann's Versuch einer physischen Darstellung der Lebenskräfte organisirter Körper. II Bde. 8. Frankf. 1797.

wenn gleich die fortgesetzte Säuerung des Blutes der Thiere nothwendige Bedingung des thierischen Lebens ist, so kann doch dieser Sauerstoff nicht selbst als die in lebenden Thieren wirkende Kraft betrachtet werden, welche letztere vielmehr sowohl Säuerung, als auch Entsäuerung bewirkt, mithin zur Erhaltung des Lebens den Sauerstoff auf gleiche Weise als andere Stoffe erfordert und dessen Vereinigung mit andern Stoffen und seine Trennung von denselben bewirkt. Mit weit mehr Gründen liefsen sich die Hypothesen unterstützen, wonach die Wärme und noch mehr die Elektricität oder der Magnetismus das Princip des Lebens ausmachen sollten, allein man mufs dennoch wenig klare Begriffe von der Wirkungsart dieser drei Potenzen haben, um darin die Bedingung des animalischen und vegetabilischen Lebens zu finden. Einige Physiologen wollten diese auf die Wechselwirkung des Sauerstoffs, Wasserstoffs, Kohlenstoffs und Stickstoffs zurückführen [1], welche allerdings in allen belebten Körpern existirt, aber nur als Resultat der Lebensthätigkeit, keineswegs als Ursache derselben, und wenn andere endlich die letztere in der eigenthümlichen Mischung und zugleich in der Form der organischen Materie finden wollten [2], so kommt dieses auf die Beantwortung der schwierigen, unten noch kurz zu erwähnenden Frage zurück, nämlich ob es bleibend belebte Materie giebt oder nicht; alle Betrachtungen über diesen Gegenstand werden aber allezeit zu dem Resultate führen, dafs die Functionen des Lebens sowohl bei den Pflanzen, als auch bei den Thieren durch eine eigenthümliche Kraft bedingt werden [3], deren eigentliches Wesen jedoch bisher noch eben so wenig erkannt worden ist, als das Wesen der Materie und der sie bewegenden und verändernden Kräfte überhaupt. Es ist also zunächst vorliegender Gegenstand der wissenschaftlichen Forschung, die in

---

1 J. B. T. Braume's Versuch eines chemischen Systems der Kenntnisse von den Bestandtheilen des menschl. Körpers. A. d. Französ. Berl. 1802. 8.

2 Hildebrandt's Lehrbuch der Physiologie. 4te Aufl. Erl. 1809. S. 44. Steph. Gallini's Betrachtungen über die neueren Fortschritte in der Kenntnifs d. menschl. Körpers. A. d. Ital. Berl. 1794. 8. Reil von der Lebenskraft. Bd. 1. St. 1. S. 8.

3 Hufeland a. a. O. S. 89. C. H. Pfaff über thierische Elektricität und Reizbarkeit. Leipz. 1795. Brandis Versuch über die Lebenskraft. S. 516.

belebten Körpern wirksamen Kräfte vorerst nur in Beziehung auf ihre Aeufserungen näher kennen zu lernen, und in sofern man zu diesem Ende mit der Kenntnifs der verschiedenen einzelnen Organe lebender Wesen, in denen sich die Lebensthätigkeit ganz eigentlich zeigt und welche zu ihrer Wirksamkeit unentbehrlich sind, in einem höheren Grade ausgerüstet seyn mufs, als dieses bei dem Physiker in der Regel der Fall seyn kann, so bleibt dieser eigenthümliche Zweig der Naturforschung als eine specielle weitläufige und schwierige Aufgabe den Physiologen überlassen.

Die Lebensfunctionen sind sowohl bei den Pflanzen, als auch bei den Thieren höchst mannigfaltig und die Frage, ob alle diese auf eine einzige Kraft zurückgeführt werden können und müssen, liegt daher sehr nahe bei der Sache. Im Allgemeinen bestehen manche Pflanzen- und Thier-Species aus den nämlichen einfachen Bestandtheilen, auch ist eine scharfe Grenze zwischen den Animalien und Vegetabilien kaum nachzuweisen, so dafs man hiernach die das Leben bedingende Kraft bei beiden als gleich ansehn könnte. Auf der andern Seite aber ist das Leben bei den Animalien innigst mit dem Empfindungsvermögen verbunden, welches den Pflanzen fehlt, bei den höheren Thierclassen aber bis zum Selbstbewufstseyn gesteigert, bei den Menschen sogar mit dem eigentlichen Nachdenken verbunden ist. Die Aufgabe wird zunehmend verwickelter, wenn man die vielfachen anderweitigen physiologischen Gesetze berücksichtigt, namentlich dafs vermöge der fortdauernden Lebensthätigkeit zwar fortwährend neue Individuen erzeugt werden, aber allezeit nur solche Species, als die erzeugenden selbst sind, und dafs bei Bastarden die Fortpflanzungsfähigkeit aufhört, dafs überhaupt die zahlreichen Organe, namentlich bei den höheren Thierclassen, auf so ganz verschiedene Weise wirken, bald zur Assimilation, bald zur Ausscheidung gewisser Bestandtheile, sich zwar vielfältig einander zu vertreten vermögen, im Ganzen aber für ihre individuellen Bestimmungen und ihnen eigenthümliche Leistungen ganz unentbehrlich sind.

Man erkennt selbst bei einer nur oberflächlichen Betrachtung die aufserordentliche Menge von Untersuchungen, welche vorausgehen müfsten, wenn es darum zu thun wäre, die vorliegende Frage zu beantworten, nämlich ob allen Erscheinungen der Lebensthätigkeit nur eine einzige Kraft zum Grunde liege oder ob die Wirksamkeit der verschiedenen Organe auf mehreren eigen-

thümlichen oder nur anders modificirten Kräften beruhe. Es scheint mir jedoch hier nicht der Ort zu seyn, tiefer in diese Untersuchungen einzugehn, und es wird genügen, darüber nur Folgendes zu bemerken. So lange noch für keinen einzelnen Procefs des organischen Lebens die eigenthümliche, ihn bedingende Kraft deutlich erkannt ist, mufs die Frage, ob bei allen die nämliche oder einzelne verschiedene Kräfte wirksam sind, noch zu frühzeitig erscheinen. Allerdings sind die erzeugten Wirkungen in einem hohen Grade verschieden, allein sie werden zugleich durch sehr ungleiche Organe bedingt und es dürfte nicht schwer werden, bei der Erlaubnifs hypothetischer Voraussetzungen sie insgesammt auf eine gemeinsame Kraft zurückzuführen. Wenn jedoch einige Physiologen [1] dieses für ganz nothwendig erklären, weil die einzelnen Kräfte nicht für sich allein wirken könnten, vereint aber wieder eine höhere, sie insgesammt treibende, fordern würden, welche dann erst als die eigentliche Lebenskraft zu betrachten wäre, so richten sie hierbei ihr Augenmerk hauptsächlich auf die höheren Thierclassen, deren Organismus allerdings ein gemeinsames Ganzes ausmacht und durch ein einfaches Princip belebt zu seyn scheint, dessen Entschwinden sofort den Tod aller einzelnen Theile herbeiführt.

Bei der Untersuchung der Lebenskraft kommt vor allen Dingen noch eine sehr schwierige Frage in Betrachtung. Alle organischen Körper nämlich, sowohl die Pflanzen als auch die Thiere, verlieren ihr Leben und werden in einfache Bestandtheile zerlegt, welche sich auf keine Weise anders als die todten, unorganischen Materien verhalten. Jedes belebte Wesen, sobald einmal sein Lebenskeim gegeben ist, nimmt hauptsächlich organische Stoffe, welche früher belebten Körpern angehörten, aber auch unorganische, namentlich Sauerstoffgas, Kohlenstoff, Phosphor, Wasser, Salze u. s. w. in sich auf, assimilirt sich einige Theile derselben und stöfst andere aus, wächst hierdurch und vermehrt also in seinem Individuum die Quantität der belebten Materie, während andere Individuen nach dem Erlöschen ihres Lebens in ihre einfachen Bestandtheile zersetzt werden. Ohne sofort auf die entfernter liegende Frage einzugehn, nämlich ob hiernach die Summe der auf der Erde vor-

1 Vergl. Physiologie, philosophisch bearbeitet von C. Ch. E. Schmid. III Th. Jena 1798—1801. 8. Th. I. S. 132.

handenen belebten Materie vermehrt wird oder nicht, kann man zur Begründung eines klaren Begriffes von Leben und Lebenskraft nicht wohl umhin zu fragen, ob die einmal belebt gewesene Materie diese ihr inwohnende Fähigkeit, belebt zu werden, beibehält oder nicht. Wollte man das Erstere annehmen, so würde dieses zu der Folgerung führen, dafs alle organischen Körper bei ihrer gänzlichen Zersetzung, z. B. vegetabilische und thierische Theile durch Verbrennung, nicht in unorganische verwandelt würden, sondern, wenn gleich nicht organisirt (mit Organen versehn), doch organisch, d. h. belebungsfähig, blieben. Sofern aber solche aus organischen Körpern erhaltene einfache Stoffe oder binäre Verbindungen von den oben bezeichneten unorganischen gar nicht unterscheidbar sind, so müfste angenommen werden, dafs entweder alle Materie belebt und ihre Lebensfähigkeit also unzerstörbar wäre, oder dafs dieses nur von einer gewissen vorhandenen Menge derselben behauptet werden könnte. Obgleich es schwer ist, in einem so dunkeln Gebiete irgend eine gewagte Hypothese völlig zu widerlegen, so würde es doch nach der bestehenden Kenntnifs der Naturgesetze kaum vorstellbar seyn, einen solchen Unterschied anzunehmen, und namentlich, dafs das Leben in den organischen Stoffen unzerstörbar seyn sollte. Hiernach folgt aber nothwendig, dafs die unorganische Materie belebungsfähig ist, sobald sie von belebten organischen Körpern aufgenommen wird, weil sonst die Menge belebter Wesen durch jede gänzliche Zerstörung eines Individuums verringert und somit stets kleiner werden müfste. Hiernach wäre also alle Materie der Belebung oder mindestens der Theilnahme an den Lebensfunctionen organisirter Wesen fähig, welche überhaupt als Bestandtheil lebender organisirter Körper gefunden wird. In dieser Beziehung zeigt sich wiederum aus der Erfahrung, wie allgemein in der Natur die Uebergänge von dem Mehr zum Minder ohne eigentlich scharfe Begrenzung statt finden. Einige Stoffe nämlich, z. B. der Arsenik, machen nie einen Bestandtheil organisirter Körper aus, tödten vielmehr das Leben und zerstören den Organismus, andere dagegen erscheinen als ganz allgemein verbreitet, z. B. Kohlenstoff und Wasserstoff, welche in allen organischen Materien gefunden werden und daher als die wesentlichsten zu betrachten sind, noch andere endlich, z. B. die Kalkerde, finden sich allerdings häufig in lebenden Wesen, nehmen aber namentlich an den feineren

Lebensfunctionen nur geringeren Antheil, insofern die hauptsächlich aus ihnen bestehenden Theile nicht mit Nerven versehn und daher unempfindlich sind.

Nach allen diesen Betrachtungen ist also das eigentliche Wesen des Lebens und der dasselbe bedingenden Lebenskraft noch vielseitig in ein undurchdringliches Dunkel gehüllt. Als wahrscheinlich läfst sich jedoch annehmen, dafs das Leben nicht an einfache materielle Stoffe gebunden ist, auch kann dasselbe nicht füglich als für sich bestehend und den einzelnen Körpern nach aliquoten Mengen zugetheilt vorgestellt werden, vielmehr scheint das Leben jedes einzelnen Individuums nur an zusammengesetzte Körper gebunden und durch deren Organismus bedingt, indem es schwach anfangend sich im Samenkorn entwickelt, zunimmt, oft oder vielmehr meistens vielfache Wechsel der Steigerung und Abnahme durchläuft und endlich mit der Abnahme und Zerstörung des organisirten Körpers plötzlich oder allmälig schwindet. Die Erde unter dem Einflusse und der Mitwirkung der ihr zugehörigen bekannten (und vielleicht noch unbekannten) Potenzen ruft das Leben überall hervor, indem an allen Orten, wo Wärme, Feuchtigkeit und sonstige Bedingungen nicht fehlen, Pflanzen und Thiere entstehen und namentlich aus den zerstörten wieder hervorgehen.

Endlich verdient noch folgende Betrachtung hierbei nicht unberücksichtigt zu bleiben. Soll sich das Leben entwickeln, so mufs irgend ein organischer Körper als Samenkorn vorhanden seyn, welcher zwar für sich unbelebt scheint, wohl aber die Belebungsfähigkeit in sich trägt. In den durch Kunst dargestellten einfachen Bestandtheilen organischer Körper entwickelt sich durch ihre Vereinigung kein Leben, vielmehr scheint die Hervorrufung des letzteren noch durch verschiedene, in der Natur gegebene Hülfsmittel bedingt. So habe ich selbst vor längerer Zeit Stärkemehl, Schreinerleim, Gerstenkörner und Melonenkerne unter destillirtem Wasser in ganz angefüllten oder einen kleinen Antheil Luft enthaltenden, fest verschlossenen Gefäfsen in verschiedenen Temperaturen theils in völliger Finsternifs, theils in geringerem bis zum hellsten Sonnenlichte Jahre lang aufbewahrt, ohne dafs sich die geringste Spur einer Entwickelung des vegetabilischen oder thierischen Lebens wahrnehmen liefs, welche jedoch unter gleichen Bedingungen beim Zutritte der atmosphärischen Luft sehr bald erfolgte. Oft ruht die Lebens-

thätigkeit lange, z. B. in Samenkörnern, welche lange Zeit im trocknen Zustande aufbewahrt das Vermögen zu keimen nicht verlieren, nicht selten aber verschwindet die Vitalität ohne kenntliche Spuren einer wesentlichen Veränderung, namentlich in Samenkörnern und Eiern, welche dann durch die nämlichen Ursachen in Fäulniſs übergehen und in ihre einfachen Bestandtheile zersetzt werden, die in andern das Leben hervorrufen[1].

M.

Leere.

Leerer Raum; *Vacuum*, *vacuum spatium*; Vide; *Vacuity*, *Vacuum*.

Kaum giebt es in dem weiten Gebiete der Naturforschung noch einen sonstigen Gegenstand, worüber so viel und so heftig ohne den allergeringsten Nutzen gestritten worden wäre, als über die Existenz und das eigentliche Wesen des leeren Raumes. Ganz umgangen kann daher diese Untersuchung hier nicht werden, weil sie in der Physik von jeher zu viel Aufsehen gemacht hat, allein es wird genügen, nur das Wesentlichste hiervon beizubringen.

Wenn wir den Grundsatz annehmen, daſs die Naturlehre bei ihren Forschungen bloſs von der Erfahrung ausgeht, so ist

---

1 Auſser den bereits genannten Werken findet man diese Gegenstände untersucht in T. G. A. Rose's Grundzügen aus der Lehre von der Lebenskraft. Gött. 1795. 8. — Hebenstreit über die Bestimmung unserer Begriffe von der Lebenskraft durch die Erfahrung, im Anhange zu der Uebersetzung von Gardiner's Untersuchungen über die Natur thierischer Körper. Leipz. 1786. — Ackermann Versuch einer physischen Darstellung der Lebenskräfte organisirter Körper. 1r Bd. Frankf. 1797. — Zoonomie oder Gesetze des organischen Lebens. Von Erasmus Darwin. Aus dem Engl. von Brandis. Hann. 1795 und 97. — Unzer's erste Gründe einer Physiologie der eigentlichen thierischen Natur thierischer Körper. Leipz. 1771. — Mehr weitschweifig als ausführlich ist Virey de la Puissance vitale etc. Par. 1823. 8. — Am belehrendsten ist dasjenige, was sich in den Hauptwerken über Physiologie findet, namentlich Blumenbach's Institutiones phys. Ed. nov. Gott. 1798. §. 42., Treviranus Biologie Th. I. i. A., dessen Ansichten sich nach der zu jener Zeit herrschenden Naturphilosophie etwas hinneigen, Rudolphi's Physiologie u. s. w. Th. I. und viele andere.

es nicht schwer, die erforderlichen Begriffe und Sätze über den Raum, sowohl den erfüllten, als auch den leeren, festzustellen. Der Begriff des Raumes wird uns durch Anschauung gegeben und entsteht durch die Vorstellung des Ausgedehntseyns nach den drei bekannten Dimensionen, sowohl jeder einzelnen, als auch aller zusammengenommen. Die bloſse Ausdehnung nach einer Dimension giebt den Längenraum oder die Länge, nach zwei Dimensionen den Flächenraum oder die Fläche und nach drei Dimensionen den Körperraum oder den Körper. Ob alle drei vorstellbar sind oder nicht, darüber kann kein Streit seyn, weil sie durch Anschauung gegeben werden, denn wir beobachten die Entfernungen oder die Längen, die Flächen und die Körper. Bei den Untersuchungen über den Raum abstrahirte man von dem durch Ausdehnung nach einer und nach zwei Dimensionen gegebenen und bloſs der körperliche Raum kam in Betrachtung, welcher sich auch allein hierzu eignet, insofern bei ihm gefragt werden kann, ob es auch einen *leeren Raum* giebt. Wird diese so vielfach ventilirte Frage zuvörderst in dem Sinne genommen, ob der leere Raum in unserer Vorstellung existiren, also vorgestellt oder gedacht werden könne, so scheint mir ein Streit oder nur eine Ungewiſsheit hierüber ganz unmöglich. Zwar erkennen wir den Raum im Allgemeinen nur an Körpern, also den mit Materie erfüllten Raum; allein da wir die Materie ohne einen *bestimmten,* von ihr eingenommenen Raum denken können und da bei allen geometrischen Messungen nur auf den Raum, keineswegs aber auf die Materie in demselben Rücksicht genommen wird, so unterliegt es keinem Streite, ob der leere Raum, d. h. der Raum an sich, vorstellbar sey oder nicht[1]. Endlich kommt noch hinzu, daſs wir auf gewisse Weise in der Torricellischen Leere oder in jedem Stiefel mit absolut genau passendem Embolus nach Zurückziehung von diesem, ja selbst hinter einer mit solcher Geschwindigkeit bewegten Kugel, daſs die Luft in den Raum hinter ihr nicht sogleich einzudringen vermag, einen absolut leeren Raum annehmen können und anzunehmen pflegen,

---

1 Daſs wir keine Materie ohne Ausdehnung, also ohne Raum denken können, läſst sich nicht als ein Widerstreit gegen den aufgestellten Satz anführen, denn es handelt sich hier nur von dem Begriffe des Raumes ohne Materie, nicht aber von der Vorstellung der Materie ohne den Begriff des Raumes.

wenn gleich Dämpfe und Inponderabilien in demselben vorhanden seyn mögen, deren Vorhandenseyn in demselben wir übrigens entweder als problematisch betrachten, oder auf allen Fall als nicht statt findend ansehn können.

Man blieb jedoch bei diesen allgemeinen Betrachtungen nicht stehn, sondern ging sofort zu einer andern Frage über, nämlich ob absolut leere Räume, wo und auf welche Weise sie in der Natur wirklich existiren. Die Beantwortung derselben war um so viel wichtiger, je inniger die Erklärung vieler dunkeln Naturerscheinungen damit verflochten wurde, ja man kann sagen, dafs die Haltbarkeit oder der Untergang der ganzen Cartesischen Naturphilosophie darauf beruhte. Die Aufgabe selbst wurde von den ältesten Zeiten an in grofser Allgemeinheit untersucht und man unterschied daher ein *vacuum mundanum* und *extramundanum*, wovon jenes innerhalb, dieses aufserhalb der Weltgrenzen existiren sollte, beide zusammen aber in gewissem Sinne das gleichfalls unterschiedene *vacuum absolutum*, eine für sich bestehende, unbegrenzte, unveränderliche, dem Daseyn der Körperwelt vorausgehende, vom Schöpfer erst später mit Materie erfüllte Leere bezeichneten. Offenbar führt die Untersuchung des letzteren zu einer nutzlosen müfsigen Speculation, welche auf allen Fall aus der Naturlehre zu verbannen und in das Gebiet der Metaphysik zu verweisen ist; jedoch dürfte auch diese es überflüssig finden, eine Aufgabe näher zu untersuchen, welche durchaus keinen sicheren Anhaltpunct darbietet, indem wohl keine Philosophie über dasjenige selbst nur eine Hypothese aufzustellen wagen wird, was der Schöpfung der Welt vorausgegangen ist. Auf gleiche Weise nutzlos ist die Betrachtung und selbst die blofse Vorstellung eines *vacuum extramundanum*. Es ist zwar metaphysisch allerdings möglich, Grenzen der Welt anzunehmen und aufserhalb dieser einen leeren Raum zu setzen, ja manche haben in der That argumentirt, die Welt könne nicht unendlich, sondern müsse endlich, also begrenzt seyn, sie haben dann selbst die möglichen oder wahrscheinlichen Grenzen der Welt nach der hypothetisch angeschlagenen weitesten Entfernung der äufsersten Fixsterne festzusetzen gesucht, um auf eine solche Hypothese dann weitere Schlüsse zu bauen; allein dieses Philosophiren ist offenbar nichts anderes, als ein phantastisches Vermengen theologischer halb religiöser, halb naturphilosophischer Sätze, welche krankhaften Träumereien ähnliche Phantasien aus

jeder gesunden Naturphilosophie zu verbannen sind, indem letztere ohnehin alles dasjenige, was zum Glauben gehörig aufser den Grenzen der Erfahrung liegt, ein für allemal zurückweisen mufs[1]. Die Grenzen der sichtbaren Welt liegen weiter hinaus, als wohin die Möglichkeit menschlicher Ausmessung reicht, sie sind also relativ unendlich fern, unerreichbar und unbestimmbar, wodurch zugleich jede Untersuchung dessen, was über sie hinausliegen soll, abgeschnitten wird.

Das *vacuum mundanum* ist dann wieder ein zweifaches, nämlich das *disseminatum*, die zerstreute Leere, die zwischen den materiellen Theilchen eines Körpers befindliche, und das *coacervatum*, die aufgehäufte Leere, die zwischen den zerstreuten Weltkörpern vorhandene und diese von einander trennende. Sondert man hiervon die zur besseren Bestimmung der Sache keineswegs erforderlichen, scholastisch klingenden Bezeichnungen, so kommt man auf eine der Naturforschung allerdings anheim fallende Frage, nämlich ob der zwischen den sichtbaren und den nicht sichtbaren, aber muthmafslich vorhandenen Weltkörpern befindliche Raum ein leerer oder erfüllter sey und was sich in demselben befinden möge. Indem wir bei der Beantwortung dieser Frage zunächst von derjenigen Erfahrung ausgehn müssen, welche uns durch die Erforschung unserer Erde gegeben ist, so wissen wir hieraus, dafs die Dunsthülle der letzteren im Verhältnisse zur Entfernung selbst der nächsten Weltkörper eine nur geringe Höhe haben kann, ähnliche mögliche Atmosphären anderer Weltkörper sind uns jedoch zu wenig genau bekannt, als dafs wir irgend etwas darüber bestimmen könnten; von den Inponderabilien ist das Licht einmal gewifs überall verbreitet, mithin giebt es in Beziehung auf dieses keinen absolut leeren Raum; über die sonstigen unwägbaren Potenzen läfst sich nicht wohl im Allgemeinen etwas bestimmen und die Beantwortung der Frage kommt also auf die einer andern zurück, nämlich ob es einen Aether giebt und von welcher Beschaffenheit dieser seyn mag[2].

Zwischenräume zwischen den constituirenden Bestandtheilen der Körper auf unserer Erde anzunehmen ist man allerdings genöthigt, wenn man sich zur atomistischen Theorie bekennt,

---

1 Vergl. Bd. IV. S. 1240.

2 S. Art. *Aether*.

und ehe daher die Frage zur Beantwortung kommt, ob diese leer sind oder ob es solche überhaupt nicht geben könne, mufs zuerst über die Zulässigkeit oder Unzulässigkeit dieser Theorie entschieden werden, mithin fällt diese Untersuchung mit einer andern über die Materie überhaupt und die Art ihrer Existenz im Raume zusammen[1]. Es genügt daher, hier im Allgemeinen zu bemerken, dafs die Annahme leerer Zwischenräume zwischen den Bestandtheilen eines Körpers aus oben bereits angegebenen Gründen keinen inneren Widerspruch einschliefst, wie schon daraus hervorgeht, dafs man sich die durch Anschauung gegebenen Poren der Körper mit willkürlicher, also auch mit gar keiner Materie angefüllt denken kann.

Mit dieser einfachen Auffassung einer Aufgabe, nämlich ob die Zwischenräume zwischen den Himmelskörpern leer oder erfüllt sind, desgleichen ob es leere Zwischenräume zwischen den Bestandtheilen der Körper giebt oder nicht, welche doch am Ende nur durch die Erfahrung und unmittelbar aus dieser abgeleitete Schlüsse beantwortet werden kann, war man früherhin keineswegs zufrieden, sondern man wollte apriorische Schlüsse aus metaphysischen Principien zu einem Systeme vereinigen und dieses zur Erklärung der Naturerscheinungen benutzen. Die Epikuräer und älteren atomistischen Philosophen nahmen blofs hypothetisch einen absolut leeren Raum an, in welchem sich die Atome bewegten, zuerst geradlinicht, dann durch Störung veranlafst in verschiedenen Richtungen, wodurch sie zusammenstiefsen und die gegenwärtig vorhandenen Körper bildeten. Lucretius[2] bringt verschiedene Beweise für die Existenz der leeren Räume vor, aber sie beziehen sich auf das *vacuum disseminatum*, also nicht auf das *absolutum*. Blofs hypothetisch war die von den Peripatetikern angenommene absolute Naturkraft (*qualitas occulta*) eines Abscheues am leeren Raume (*horror vacui, fuga vacui*), woraus diese und die Scholastiker der späteren Zeit eine Menge Naturerscheinungen zu erklären suchten. Ganz eigentlich naturphilosophisch wurde der Gegenstand durch Cartesius[3] behandelt. Dieser Philosoph erkannte die Ausdehnung als nothwendige Bedingung der Existenz oder un-

---

1 S. Art. *Materie*.

2 De rer. nat. L. I. v. 335, 370, 385 u. s. w.

3 Princ. Phil. Amst. 1685. 4. P. II. §. 10. p. 27.

serer Vorstellung von der Existenz der Materie, verwechselte hierbei aber das Bedingende mit dem Bedingten in sofern, dafs ihm die Ausdehnung selbst etwas Materielles war. Hiernach verwarf er das Ausgedehntseyn, als einen Verstandesbegriff, gänzlich und nahm blofs ausgedehnte Materie an, insofern man z. B. nicht sagen könne, dafs zwei Flächen, wenn keine Materie zwischen ihnen befindlich wäre, noch einen Abstand von einander hätten, sondern wenn sich nichts zwischen ihnen befände, müfsten sie mit einander in Berührung seyn. Wäre daher ein eingeschlossener, mit Materie erfüllter Raum gegeben, z. B. ein Zimmer mit undurchdringlichen Wänden von beliebigem Abstande, und Gott nähme alles in demselben Befindliche, die gesammte eingeschlossene Materie, weg, so würde auch der Raum damit verschwinden und die einschliefsenden Wände sich berühren; denn Flächen und Körper, von denen man sagen müsse, dafs sich *nichts* zwischen ihnen befände, müfsten in Berührung seyn. Ausdehnung sey das Wesen der Materie; wo Ausdehnung sey, habe man also Materie; der Raum oder das Ausgedehnte sey mithin materiell und der Ausdruck: leerer Raum, sofern er ein Ausgedehntes nicht materielles bezeichnen solle, schliefse einen Widerspruch in sich, weil er das Vorhandenseyn des Materiellen zugleich setze und wieder aufhebe. Cartesius nahm hierbei zugleich Materie von ungleicher, zunehmend geringerer, zuletzt in einen blofsen Aether übergehender Dichtigkeit an, wonach dann die feinere Materie in diejenigen Räume eindrang, aus welchen die gröbere weggenommen wurde, so dafs hiernach ein steter, sich unausgesetzt bedingender Wechsel der Bewegungen entstehen mufste, welcher Ansicht selbst Leibnitz[1] bei der Annahme der ewig dauernden Weltordnung gehuldigt zu haben scheint.

Der hauptsächlichste Gegner dieser Cartesischen Hypothese, welche mit dessen bekannter Wirbeltheorie im innigsten Zusammenhange steht, war Newton[2], jedoch gründete dieser seine Widerlegung nicht auf die Darlegung der falschen Voraussetzungen, worauf jene Argumentation durch Annahme der Identität von Materie und Ausdehnung beruht, indem Cartesius offenbar das Nichts als Negation des Materiellen mit einer Negation des

1 Acta Erud. Lips. 1689.

2 Princ. Lib. II.

Raumes als Verstandesbegriffes oder einer bloſsen Vorstellung verwechselte, sondern auf die Widersprüche, worin sie mit anerkannten Gesetzen, namentlich der Bewegung, sich verwickelt.

1) Wäre aller Raum mit Materie erfüllt, so könnte es überall keine Bewegung geben, weil kein Körper einen andern Raum als den seinigen einnehmen kann, ohne diesen leer zu finden oder einen andern zu verdrängen, welcher dann aber wieder einen andern verdrängen muſs, und so ins Unendliche. Hiergegen könnten die Cartesianer allerdings einwenden, daſs alle weitere Bewegungen erfolgen müſsten, wenn nur eine Bewegung von Ewigkeit her gegeben wäre, allein durch diese Hypothese würde sich die Mechanik in das ihr ganz fremde Gebiet, man darf nicht sagen des Glaubens, sondern des Aberglaubens verirren.

2) Insbesondere würde die Bewegung der Himmelskörper in einem vollkommen dichten, d. h. mit keinen leeren Zwischenräumen versehenen, Aether unmöglich werden. Bewegten sie sich nämlich im Wasser oder Quecksilber oder einer sonstigen Flüssigkeit, so würde der Widerstand den Dichtigkeiten dieser Medien proportional seyn, unüberwindlich müſste er aber in einem Medium werden, welches nirgends einen leeren Raum zum Ausweichen finden kann. (Da Cartesius die Zusammendrückbarkeit z. B. der Luft kannte, so könnte man ein Miſsverständniſs voraussetzen, insofern es ihm hiernach unmöglich seyn muſste, einen absolut dichten Aether anzunehmen; allein theils durchdringt, nach seiner Vorstellung, der Aether die Wände der Gefäſse und nimmt zurückflieſsend die vom bewegten Körper verlassene Stelle wieder ein, theils nannte er die Flüssigkeiten feiner und gröber, also auch in Folge dieser Eigenschaft mehr und minder zusammendrückbar, ohne ihnen absolute Dichtigkeit beizulegen, was nur aus der atomistischen Theorie nothwendig folgt.)

3) Da der Unterschied des Aethers von andern Körpern bloſs in der Form der Materie bestehn soll, so müſste es möglich seyn, durch die Aenderung der Form auch die des Aethers zu erhalten, wonach also die Körper nach der Beschaffenheit dieser Form specifisch leichter werden müſsten, wenn anders der Aether nicht gleichfalls gegen die Erde gravitirt.

4) Ein Körper fällt in einer Flüssigkeit nur dann nieder, wenn sie specifisch leichter, also dünner ist, als er selbst. Da

wir aber Räume durch die Luftpumpe stets leerer machen können, zuletzt so weit, daſs eine Flaumfeder mit dem Golde gleich schnell fällt, warum sollte man den Raum nicht endlich völlig leer machen können?

5) Da die Pendelschwingungen aller Körper im luftleeren Raume gleich schnell sind, so geht hieraus hervor, daſs sich in demselben kein Widerstand leistendes Fluidum befindet, weil die Geschwindigkeiten der Pendelschwingungen den Dichtigkeiten des umgebenden Mediums proportional abnehmen.

Die dynamische Theorie gründete in den neuern Zeiten einen bedeutenden Vorzug vor der Atomistik auf das Argument, daſs sie keine leeren Räume anzunehmen genöthigt sey, weil die ausdehnende Kraft der Materie ins Unendliche zunehmen und dadurch ihre Feinheit unendlich klein werden könne, so daſs damit jeder Widerstand derselben verschwinde. Die Atomistiker der neuern Zeit haben jedoch diesen Vorwurf ganz unbeachtet gelassen, weil die Vorstellung leerer Räume keinen innern Widerspruch einschlieſst, die Annahme derselben aber oder ihre Verwerfung von der vorläufigen Bestimmung abhängt, was die Materie an sich sey, worüber weder die eine noch die andere Hypothese genügende Auskunft giebt.

Guericke'sche Leere (*Vacuum Guerickianum, Boylianum*) nennt man diejenige Leere oder denjenigen leeren Raum, welcher vermittelst der Luftpumpe in den verschiedenen Gefäſsen hervorgebracht wird. Das Wenige, was sich über diesen bekannten Gegenstand sagen läſst, kommt bei dem Artikel *Luftpumpe* vor.

Leidner Leere, auch Leidner Vacuum, Kleistisches Vacuum (*Vacuum Leidense*) genannt, bezeichnet einen eigenthümlichen, durch Henley[1] angegebenen Apparat, welcher zunächst dazu dienen sollte, die Franklinsche Theorie von *einer* elektrischen Materie zu beweisen.

Fig. 24. Eine Flasche, 6 bis 12 Zoll hoch, wird auswendig bis etwa zur Mitte ihrer Höhe mit Stanniol beklebt, wodurch dann die Möglichkeit der elektrischen Ladung im Innern von selbst gege-

1 Cavallo vollständ. Abhandl. von der Elektricität. Leipz. 1785. S. 181. — Adam's Versuch über die Elektricität. Leipz. 1785. S. 78 u. a. a. O.

ben ist. Der Hals der Flasche ist mit einer messingnen Fassung ab und einem Canale in dieser versehn, in welchem ein Ventil der Luft das Eindringen versperrt. Diese Flasche wird dann vermittelst einer kleinen Handpumpe oder durch Aufschrauben auf die Luftpumpe luftleer gemacht und eine auf den messingnen Canal geschraubte Kugel E leitet die von Aufsen mitgetheilte Elektricität durch einen spitzen oder gleichfalls mit einer aufgeschraubten Kugel g versehenen Draht bis etwa in die Mitte der luftleer gemachten Flasche hinab. Eine so vorgerichtete Flasche wird oft nur auf einen Kranz von Holz oder Pappe gesetzt, nach Henley's Angabe aber bringt man unten bei F eine Schraubenmutter an, vermittelst deren sie auf ein Stativ befestigt werden kann, auch versieht man zuweilen den oberen und unteren Knopf mit den spitzen Drähten c und d, die sich einschrauben oder wegnehmen lassen.

Soll dieser Apparat blofs dazu dienen, das büschelig-strahlige Licht der Elektricität im luftleeren Raume zu zeigen, so wird die Flasche auf irgend einen Kranz gesetzt oder selbst nur an den Conductor der Elektrisirmaschine gehängt, und während die Elektricität durch die Kugel E und den von ihr herabgehenden Draht einströmt, der äufseren Belegung aber Ableitung gegeben wird, ladet sich die Flasche und entladet sich bei aufhörender Zuströmung auf dem nämlichen Wege wieder, welches beides mit interessanten Lichterscheinungen verbunden ist. Nach Henley dagegen wird die Flasche mit der unteren Kugel F auf ein isolirendes Stativ befestigt und die Spitze d einem positiv elektrischen Conductor genähert, in welchem Falle bei d und g leuchtende Puncte, bei c aber ein ausströmender Strahlenkegel erscheint; nähert man dagegen c dem positiven Conductor, so erscheinen im Dunkeln bei c ein leuchtender Punct, bei g und d aber Strahlenbüschel. Ist der Conductor negativ, so ist die Erscheinung gerade umgekehrt, auch zeigt sich diese Umkehrung, wenn man die Drähte wegnimmt und abwechselnd die Kugel E oder F dem positiven oder negativen Conductor nähert, in welchem Falle bei g ein Strahlenbüschel oder nur ein leuchtender Punct zum Vorschein kommt. Dafs jedoch diese Versuche blofs eine interessante Spielerei sind, keineswegs aber für die Franklin'sche Theorie einen vollgültigen Beweis geben, ist genugsam bekannt.

Ein ähnlicher, nur wenig abgeänderter Apparat ist Henley's

leuchtender Leiter. Dieser besteht aus einer 18 bis 36 Zolle langen und 1,5 bis 4 Zolle weiten Glasröhre, an deren beiden Fig. 25. Enden die messingnen Kappen BE und FD angekittet sind. Die eine von diesen hat eine Spitze C, die andere eine Kugel G und von beiden geht ein wenige Linien dicker Messingdraht mit einer Kugel einige Zolle tief in die Röhre. Die eine der Kappen, nämlich die bei B, ist mit einem Ventile und einer Vorrichtung versehn, vermittelst welcher sie auf die Luftpumpe geschraubt und die ganze Röhre luftleer gemacht werden kann, welche demnächst auf isolirenden, im Fuſsbrete H befestigten, oben aber mit gehörig gekrümmten Lagern versehenen Glasröhren ruht. Je länger die Röhre und je weiter der Abstand der beiden in ihr befindlichen Kugeln von einander ist, desto vollkommner muſs die Röhre luftleer gemacht werden, in welchem Falle dann ungleich schönere Lichtbüschel zum Vorschein kommen. Wird nämlich die Spitze C dem positiven Conductor einer Elektrisirmaschine genähert, so zeigt sich an ihr im Dunkeln ein leuchtender Stern, die ganze Röhre aber wird inwendig durch einen nordlichtartigen hellen Schein erleuchtet, welcher in Form von Strahlenbüscheln aus der Kugel des an der Fassung FD befestigten Drahtes ausgeht und als Stern in die gegenüberstehende Kugel einströmt. Die Erscheinung erfolgt hinsichtlich der leuchtenden Puncte und Strahlenbüschel in umgekehrter Ordnung, wenn man die Spitze C einem negativen Conductor nähert, unter Umständen aber, namentlich bei sehr starker Elektricität, erscheinen an allen Kugeln Strahlenbüschel, wenn auch an Gröſse verschieden, so daſs also keine der beiden Theorien einen gültigen Beweis aus diesen Phänomenen entlehnen kann.

Die gesammten hier beschriebenen Phänomene beruhen eigentlich auf dem Gesetze, daſs die Elektricität luftleere Räume frei durchströmt, weil sie durch die isolirende Luft nicht gehindert wird. Die Verdünnung der Luft erleichtert auf diese Weise im Allgemeinen die freie Strömung der Elektricität, so daſs sie sich in den hierfür zweckmäſsig eingerichteten Räumen nach Wegnahme eines isolirenden Nichtleiters, der Luft, frei ausbreiten kann. Kein Raum aber, auf welche Weise die Luft auch weggeschafft worden seyn mag, kann als absolut leer betrachtet werden, vielmehr befinden sich in demselben allezeit noch Dämpfe und diese werden dann für die Elektricität nicht bloſs Leiter im Allgemeinen, sondern zugleich auch solche, die durch eine

schwache Art von Glühen die Farbe des elektrischen Lichtes bedingen, wie Davy[1] gezeigt hat. Namentlich verbrennt Quecksilber im Kreise starker Säulen mit einem Lichte von intensiv grüner Farbe und daher leuchtet die Elektricität in Röhren, welche mittelst des Quecksilbers luftleer gemacht worden sind, wegen vorhandener Quecksilberdämpfe mit grünlichem Lichte. Auch in den beiden beschriebenen Apparaten bleiben allezeit Dämpfe zurück, deren Beschaffenheit auf die Art des Lichtes in ihnen einen Einfluſs äuſsert, und sie gehören sonach zur Classe der leuchtenden Röhren, welche bereits ausführlicher beschrieben worden sind[2].

Torricelli'sche Leere, Toricelli'sches Vacuum (*Vacuum Torricellianum*), heiſst der luftleere Raum, welcher im Barometer über dem Quecksilber vorhanden ist. Daſs dieser Raum nicht absolut leer sey, obgleich das Auskochen der Barometer dieses bewirken soll, desgleichen daſs auch in demselben sich ein Leuchten mit grünlichem Lichte zeige, ist bereits oben erwähnt[3]. *M.*

Leiter, Nichtleiter, Halbleiter.

Leiter der Elektricität, Leiter, leitende Körper; *Conductores, Corpora conducentia, anelectrica, symperielectrica;* Conducteurs; *Conductors.* **Nichtleiter, Isolatoren;** *Non Conductores, Isolatores, Corpora idioelectrica, Corpora per se electrica;* Non Conducteurs, Isolateurs; *Isolators.* **Halbleiter;** *Semi-Conductores.*

Ich habe bereits unter dem Artikel *Elektricität*[4] die allgemeine Eintheilung der Körper nach ihrem verschiedenen Ver-

1 Phil. Trans. 1822. P. I. p. 73.
2 Vergl. dieses Wörterb. Th. III. S. 289.
3 Ebend. Th. I. Abth. 2. S. 763 und 940.
4 Ebend. Th. III. Abth. 1. S. 337.

halten gegen die Elektricität in die beiden Hauptabtheilungen der Leiter und Nichtleiter und der eigenthümlich elektrischen (*idioelektrischen*) und unelektrischen (*anelektrischen*) Körper aufgestellt. Der Zweck dieses Artikels ist, dieses verschiedene Verhalten und die Modificationen desselben, abhängig von der besondern Natur der Körper, näher zu beleuchten, da es von einem so wesentlichen Einflusse auf die elektrischen Vorgänge in allen ihren mannigfaltigen Formen ist.

I. Das Geschichtliche.

Der erste grofse Schritt zu der wichtigen Entdeckung der Verschiedenheit der Körper in Ansehung ihres Leitungsvermögens für Elektricität geschah durch den Engländer Gray, in Gesellschaft des Herrn Wheeler, den 3. Julius 1729[1]. Sie versuchten die durch Reiben von Glasröhren erregte Elektricität längs eines Bindfadens, der durch eine Schleife an denselben befestigt war, auf eine weite Strecke in horizontaler Richtung zu einer elfenbeinenen Kugel, welche am Ende dieses Bindfadens hing, fortzupflanzen, und liefsen zu diesem Behufe den Bindfaden am Ende einer langen Gallerie über eine feine seidene Schnur, die sich in der Mitte eines quer durch die Gallerie gezogenen dickeren Bindfadens befand, herabhängen. Sie hatten diesen feinen Seidenfaden genommen, weil sie voraussetzten, dafs derselbe wegen seiner Feinheit die Elektricität nicht zerstreuen würde, da bei dem Gebrauche eines dickeren Bindfadens sich keine Elektricität nach der Elfenbeinkugel fortgepflanzt hatte. Ihre Erwartung ward auch erfüllt, da die am Ende des durch die ganze Länge der Gallerie fortgeführten Bindfadens hängende Kugel leichte Körperchen, wie Metallblättchen u. dgl. anzog, wenn die Glasröhre am andern Ende der Schnur, welches 65 Fufs entfernt war, gerieben wurde. Bei Abänderung dieses Versuchs, indem sie unter andern die Schnur noch einmal zurückgehen liefsen, um ihre Länge zu verdoppeln, rifs der seidene Faden und nun substituirten sie der gröfsern Festigkeit halber einen feinen *Messingdraht*, wo sich dann aber keine Spur

---

1 Jos. Priestley's Geschichte des gegenwärtigen Zustandes der Elektricität, übersetzt von Krünitz. Leipzig 1772.

von Elektricität zeigte[1]. Um dieselbe Zeit bemerkte man diese Eigenschaft, die Elektricität nicht zu zerstreuen, wie an der Seide, auch an den Haaren, am Harze, Glase und einigen andern Körpern.

Von dieser Zeit an bediente man sich besonders der seidenen Schnüre, um diejenigen Körper schwebend zu erhalten, welchen man Elektricität mittheilen wollte, und erkannte zu gleicher Zeit am menschlichen Körper und besonders an den Metallen, die auf diese Art isolirt waren, die Eigenschaft, die Elektricität über ihre ganze Oberfläche zu verbreiten. GRAY wandte zu diesem Behufe vorzüglich die Metalle an und DU FAY elektrisirte zuerst den in seidenen Fäden hängenden Menschen durch Mittheilung.

Einen zweiten wichtigen Schritt in der Kenntnifs der hierher gehörigen Verhältnisse machten CANTON und BECCARIA, ersterer[2] durch seine interessanten Versuche über Elektrisirung der Luft, welche bewiesen, dafs die isolirende Eigenschaft nicht absolut sey, indem die zu den Isolatoren gerechnete Luft unter gewissen Umständen allerdings auch die Elektricität fortleite, letzterer[3] durch die Nachweisung des grofsen Unterschiedes in dem Leitungsvermögen zwischen den Metallen und dem Wasser und Bestimmung des verschiedenen Grades des Leitungsvermögens verschiedener Körper überhaupt.

Demnächst stellte Jos. PRIESTLEY[4] viele Versuche über das Leitungsvermögen verschiedener Körper an und war der erste, welcher nach einer eignen Methode die Stufenfolge verschiedener Metalle in Rücksicht auf den Grad ihres Leitungsvermögens bestimmte[5]. Viel weiter ging CAVENDISH[6], der bei Gelegenheit seiner interessanten Versuche über die Elektricität des Zitterrochens zuerst das verschiedene Leitungsvermögen der Körper für Elektricität in bestimmten Zahlenwerthen angab und die aufserordentliche Verschiedenheit hierin zwischen den Metallen und dem Wasser ausmittelte. Doch war es erst den neue-

1 Philos. Trans. abridged. Vol. VII. p. 15.

2 Ebend. Vol. XLIX. P. I. p. 300.

3 Elettricismo artificiale e naturale und Priestley's Gesch. S. 135.

4 Dessen Gesch. S. 401.

5 Ebend. S. 486.

6 Phil. Trans. 1776. Vol. LXXVI.

sten Zeiten vorbehalten, alle Umstände näher zu erforschen, welche auf das Leitungsvermögen der Körper Einfluſs haben, und mit groſser Genauigkeit die Reihenfolge derselben zu bestimmen, wozu vorzüglich die Volta'sche Säule und der elektromagnetische Multiplicator die nöthigen Mittel an die Hand gaben, welche besonders Humphry Davy mit seiner ausgezeichneten Sagacität benutzte. Erman gebührt endlich das Verdienst, ein verschiedenes Verhalten der Körper gegen die beiden Elektricitäten wenigstens mit groſser Wahrscheinlichkeit nachgewiesen zu haben. Die mehr einzelne Details betreffenden Bemühungen noch mehrerer anderer Physiker werden im Fortgange dieses Artikels am passendsten erwähnt werden.

II. Grundbegriffe in Beziehung auf die Haupteintheilung der Körper in Leiter und Nichtleiter, in anelektrische und eigenthümlich elektrische Körper und Methoden, im Allgemeinen diese Verschiedenheiten zu bestimmen.

Da wir in allen die Elektricität betreffenden Artikeln die Hypothese von einem eigenthümlichen feinen inponderabeln Fluidum als Ursache der elektrischen Erscheinungen angenommen haben, so werden wir auch in der nähern Beleuchtung des Verhaltens der Körper als Leiter und Nichtleiter diese Hypothese um so mehr zum Grunde legen, da sie einen einfachen, verständlicheren und mit unserer gewöhnlichen Naturanschauung besser übereinstimmenden Ausdruck für die Erscheinungen selbst darbietet, als die dynamische Vorstellungsart, welche alles auf Thätigkeitsäuſserungen oder Thätigkeitsbestrebungen eigenthümlicher Art zurückführt, die an allen Körpern ohne Concurrenz eines besondern, nach ihr gar nicht vorhandenen Electricums auftreten sollen, indem wir uns vorbehalten, im letzten Abschnitte die *theoretischen Betrachtungen* über das Verhältniſs dieser beiden Ansichten auch noch in dieser besondern Beziehung näher zu beleuchten. — Unter Leitern der Elektricität versteht man im Allgemeinen alle diejenigen Körper, welche, sobald in irgend einem Theile derselben ein elektrischer Proceſs

erregt worden ist, sey es unmittelbar an ihnen selbst, oder daſs sie durch diesen Theil mit irgend einem andern Körper, an welchem bereits ein elektrischer Proceſs erregt worden ist, entweder durch unmittelbare Berührung, oder auch nur durch hinlängliche Annäherung in Wechselwirkung treten, in ihrer ganzen Ausdehnung und zwar zunächst an ihrer ganzen Oberfläche an diesem elektrischen Processe Theil nehmen. Sieht man den elektrischen Proceſs überall da, wo er auftritt, als abhängig von einer eigenthümlichen elektrischen Materie an, und zwar mit Rücksicht auf den Gegensatz, der sich in diesen Erscheinungen zeigt, als abhängig von zwei in einem gewissen Gegensatze gegen einander stehenden Materien, so bestimmt sich der Begriff von Leitern sogleich näher dahin, daſs sie das elektrische Fluidum, das ihnen an irgend einer Stelle ihrer Oberfläche mitgetheilt oder sonst daselbst in Thätigkeit gesetzt wird, über ihre ganze Oberfläche fortpflanzen, so daſs dasselbe auf allen Puncten derselben thätig wird. Da wir vorläufig für diese Körper im Allgemeinen ein gleiches Leitungsvermögen für die beiden Arten von Elektricität annehmen wollen, so ergiebt sich eben damit, daſs solche Körper zugleich geschickt sind, die entgegengesetzten Elektricitäten, die ihnen auf irgend eine Weise gleichzeitig an von einander entfernten Stellen mitgetheilt werden, auszugleichen und, wenn dieselben in gleicher verhältniſsmäſsiger Menge sich finden, auf 0 zurückzuführen.

Nichtleiter oder Isolatoren dagegen verbreiten das ihnen an irgend einer Stelle mitgetheilte oder daselbst erregte elektrische Fluidum nicht über ihre ganze Oberfläche, indem sie es vielmehr an dieser Stelle festhalten, an welcher dasselbe gleichsam adhaerirt, weswegen sie auch nicht geschickt sind, die entgegengesetzten Elektricitäten, die ihnen an verschiedenen von einander entfernten Stellen mitgetheilt werden, auszugleichen und ihre Differenz aufzuheben, indem sie vielmehr von ihnen in ihrer Eigenthümlichkeit an diesen auſser einander liegenden Stellen festgehalten werden. Die Combination dieser beiden Hauptclassen von Körpern giebt im Allgemeinen das Mittel zur Bestimmung, zu welcher von beiden Klassen irgend ein Körper gehört. Da nämlich der Erdboden die Eigenschaft eines Leiters zeigt, sofern er jedes gegebene endliche Quantum von Elektricität, das ihm an irgend einer Stelle mitgetheilt wird, über seine ganze Oberfläche fortpflanzt, wie das augenblickliche Her-

absinken des vorher freien E. auf 0 beweist, so darf man nur durch irgend einen Körper, den man in Bezug auf sein Leitungsvermögen prüfen will, eine Verbindung zwischen dem Erdboden und irgend einem andern Körper, an welchem freie Elektricität thätig ist, eintreten lassen. Da der menschliche Körper und der Fuſsboden sich als Leiter beweisen und derselbe Erfolg eintritt, ob sie dazwischen treten oder die Communication unmittelbar mit dem Erdboden statt findet, so reicht es hin, einen solchen Körper, den man auf sein Leitungsvermögen untersuchen will, mit der Hand anzufassen und auf diese Weise sein Verhalten gegen einen Körper, in welchem Elektricität frei thätig ist, zu prüfen. Ist demnach irgend ein Elektrometer mit Elektricität geladen, deren Spannung dasselbe durch die Divergenz von Goldblättchen, Strohhälmchen, Korkkügelchen u. s. w. anzeigt, so wird diese Spannung augenblicklich auf 0 herabsinken, sobald man dasselbe mit einem in der Hand gehaltenen Körper berührt, der ein *Leiter* ist, im entgegengesetzten Falle wird diese Spannung unverändert bleiben oder nur in sehr geringem Grade geschwächt werden, wenn die Berührung mit einem Nichtleiter geschieht. Im letztern Falle, und namentlich bei der Anwendung empfindlicher Elektrometer, kann allerdings bei schwachen Graden von Elektricität, während der Annäherung, und noch mehr, so lange die Berührung mit einem Nichtleiter von etwas gröſserer Ausdehnung statt findet, die Spannung scheinbar auf 0 nach dem Gesetze der Vertheilung, die auch in Nichtleitern bis auf einen gewissen Grad sich geltend macht, herabsinken, aber nach Entfernung desselben wird sie ihre vorige Stärke so gut wie unverändert wieder zeigen.

Ist die Elektricität in einem Körper von etwas gröſserer Ausdehnung, wenn er von Nichtleitern umgeben ist, zu einem merklichen Grade angehäuft, so wird man einen Leiter der Elektricität am sichersten daran erkennen, daſs bei Annäherung desselben, während man ihn in der Hand hält, an jenem ein merklicher Funke hervorbricht und jener Körper nach dem Ausbruche des Funkens und noch sicherer, wenn es bis zur wirklichen Berührung gekommen ist, keine bemerkbare Spur von Elektricität mehr zeigt; ist dagegen der genäherte Körper ein Nichtleiter, so wird kein solcher einfacher Funke hervorbrechen, sondern der Leiter, an welchem die Elektricität angehäuft ist, diese nur in vielen kleinen Funken mittheilen und den gröſsten

Theil seiner Elektricität noch behalten haben, selbst wenn eine Berührung statt fand. Ist der Körper, an welchem in seiner ganzen Ausdehnung freie Elektricität mit merklicher Spannung sich zeigt, ein Nichtleiter, so wird im ersteren Falle doch nur ein kleiner Funken hervorbrechen und der Körper wird nur an der unmittelbar berührten Stelle seine Elektricität verloren haben.

Vorzüglich geschickt zur Unterscheidung der Leiter und Nichtleiter ist die Aufnahme derselben in den Entladungskreis einer geladenen Flasche. Bei hinlänglicher Annäherung des Ausladers an den Knopf der geladenen Flasche wird dieselbe gar nichts von ihrer Ladung verlieren oder nur sehr unvollkommen entladen werden, wenn die Communication von dem Auslader nach dem äufsern Belege der Flasche durch einen Körper vermittelt wird, der ein Nichtleiter ist, während diese Entladung unter Hervorbrechen eines Funkens mit Knalle mehr oder weniger vollkommen geschieht, wenn die Communication durch Leiter statt findet. Bedient man sich zu solchen Versuchen grofser Flaschen oder ganzer Batterieen, die zu einem hohen Grade von elektrischer Spannung geladen sind, so wird zwar auch bei der Aufnahme von Nichtleitern in den Entladungskreis die Entladung bei nicht zu grofser Ausdehnung jener Isolatoren erfolgen können, aber diese werden dann zerstört, zerschmettert, durchlöchert werden, während die guten Leiter ohne eine solche mechanische Veränderung die Ausgleichung beider Elektricitäten vermitteln.

Sofern alle Erscheinungen beweisen, dafs die Elektricität der Volta'schen Säule ganz identisch ist mit der Maschinenelektricität, giebt die Aufnahme der Körper in den Verbindungskreis zwischen den beiden Polen der Säule, in welchem sich zugleich eine Gas-Entbindungsröhre oder ein Multiplicator mit einer Magnetnadel befindet, ein vortreffliches Mittel an die Hand, um das Leitungsvermögen der Körper für Elektricität im Allgemeinen auszumitteln. Jeder Körper, bei dessen Aufnahme in den Verbindungskreis der beiden Pole einer Säule die Gasentbindung aufhört und alle Wirkung auf die Magnetnadel ausbleibt, wird sich eben damit als ein Nichtleiter zu erkennen geben, während bei dem entgegengesetzten Verhalten der Körper als ein Leiter angesehn werden kann. Doch wird sich weiter unten zeigen, dafs bei Anwendung dieses Verfahrens noch besondere Rücksicht auf die Beschaffenheit des Volta'schen Apparats und die davon

abhängige Stärke des elektrischen Stromes genommen werden mufs.

Aufser den zwei Hauptabtheilungen von Leitern und Nichtleitern hat man noch eine dritte Classe von Körpern unterschieden, die in der Mitte zwischen beiden stehen, gleichsam den Uebergang von der einen zu der andern machen, und die Volta zuerst mit dem Namen der *Halbleiter* unterschieden hat. Was sich auf diese bezieht, wird am passendsten unter dem folgenden Artikel abgehandelt werden können.

Mit jenem, vorzüglich in den Extremen beider Classen von Körpern so auffallend verschiedenen, gleichsam entgegengesetzten Verhältnisse gegen die Elektricität scheint ein anderer Gegensatz gleichen Schritt zu halten, wonach alle Körper sehr frühzeitig in sogenannte eigenthümlich elektrische oder *idioelektrische* und in *anelektrische* eingetheilt wurden, welche letzteren man auch *symperielektrische* nannte, sofern sie durch Mittheilung fremde Elektricität annehmen können. Die Isolatoren allein sollten nämlich durch das Reiben elektrisch erregt werden, während die guten Leiter, namentlich die Metalle, *elektrisch unerregbar* seyn sollten. Indefs hatte schon Herbert[1] die Elektricitätserregung an den Metallen durch Reiben angekündigt, besonders entscheidende Versuche in dieser Hinsicht verdanken wir aber dem Abt Hemmer[2], der zu diesem Behufe einen gut polirten Streifen von Messing mit wohl abgerundeten Rändern, 2,5 Zoll lang und breit und 0,25 Zoll dick, mit aufwärts gebogenen Rändern von einer Linie Höhe nahm, damit das seidene Band, womit er den Streifen rieb, nicht aus seiner Stelle weichen möchte, der auf einer wohl isolirenden Glasstange aufgekittet war, die an einer hölzernen Handhabe gehalten wurde. Ein einziges Hin- und Herziehen des seidenen Bandes reichte schon hin, den Metallstreifen elektrisch zu erregen, und bei wiederholtem Hin- und Herreiben gab der Metallstreifen deutliche Funken. Noch viel stärker wurden die Funken, als Hemmer nach Herbert's Vorschrift einen hohlen messingnen Cylinder von einem Fufs Länge und zwei Zoll Durchmesser sehr innig durch Katzenfell rieb. Mit beiden Reibzeugen wurde das Metall negativ.

---

1 Theoria phaenomenorum electricorum. Viennae 1778.

2 Journal de Physique. 1780. Juillet. p. 50.

Neuere Versuche über die Erregung der Elektricität durch Reiben der Metalle an einander selbst verdanken wir Becquerel[1]. Er stellte diese Elektricität dadurch dar, dafs er die beiden Metallscheiben an die Enden des Drahtes eines Multiplicators befestigte, wo dann durch ein gelindes Reiben derselben über einander, nachdem bei dem Auflegen derselben auf einander keine Wirkung statt gefunden hatte, ein hinlänglich starker Strom erregt wurde, um die Magnetnadel in Bewegung zu setzen. Stellt man auf diese Art den Versuch mit mehrern Metalllamellen an, so erhält man folgende Reihe, in welcher jedes Metall negativ ist gegen die auf dasselbe folgenden und positiv gegen die ihm vorangehenden: *Wismuth, Nickel, Kobalt, Palladium, Platin, Blei, Zinn, Gold, Silber, Kupfer, Zink, Eisen, Cadmium, Antimon.* Diese Reihe stimmt in der Hauptsache mit der thermoelektrischen überein, man könnte daher glauben, dafs die Wärme blofs als wärmeerregendes Mittel eine thermoelektrische Wirkung verursache; dafs dem aber nicht so sey, ersieht man daraus, dafs, wenn man eine Wismuth- und Antimonplatte, statt sie sanft zu reiben, durch wiederholte Schläge mit Vermeidung aller Seitenreibung stark gegen einander drückt, wo doch die Flächen mehr Wärme erhalten müssen, als bei einer sanften Reibung, die davon abhängige thermoelektrische Wirkung doch nicht stark genug ist, um die Nadel in Bewegung zu setzen. Auch zwei Scheiben desselben Metalls, über einander gerieben, werden elektrisch erregt, man mufs nur dafür sorgen, dafs derselbe Punct der einen Scheibe hinter einander alle Puncte der Oberfläche der andern durchlaufe. Hierzu dient ein Knopf, den man über eine Scheibe hinführt. Es wird dann bei Anwendung von Wismuth, Antimon, Eisen und Platin der Knopf positiv elektrisch, bei Kupfer dagegen die Scheibe. Die durch Reiben der Metalle an einander erregte Elektricität läfst sich auch dadurch sichtlich machen, dafs man Feilicht von Metall durch ein feindurchlöchertes Metallsieb oder von einer geneigten Metallfläche auf ein empfindliches Elektrometer fallen läfst. Bei Anwendung gleicher Metalle verhält sich das Feilicht negativ.

Merkwürdig ist es, dafs die durch Reiben der Metalle an

---

1 Ann. de Chimie et Phys. T. XXXVIII. p. 113. und Poggendorff's Ann. 1828. VIII. 619.

einander erregte Elektricität aufhört, auf die zuerst angegebene Art ihre Wirkung zu zeigen oder einen hinlänglichen Strom zur Ablenkung der Magnetnadel zu erzeugen, wenn die metallische Kette durch eine Flüssigkeit, selbst durch eine gut leitende, unterbrochen wird.

Man sieht also, daſs jene Eintheilung der Körper in solche, welche durch Reiben elektrisch werden, und in solche, die auf diese Art nicht erregt werden können, gänzlich wegfällt; wie auch schon unter dem Artikel *Elektricität* der Grund dieser scheinbaren Unerregbarkeit der Metalle aus ihrem vortrefflichen Leitungsvermögen nachgewiesen worden ist. Doch muſs man gradative Verschiedenheiten in dieser Hinsicht zugeben und die Metalle in Ansehung der elektrischen Erregbarkeit weit unter die Isolatoren stellen.

III. Nähere Bestimmung des Grades der Leitungs- und Isolirungsfähigkeit der Körper. Einfluſs mannigfaltiger Umstände darauf.

Die Leitungsfähigkeit der Körper für Elektricität sowohl, als auch ihr Isolirungsvermögen zeigt höchst mannigfaltige Grade, wodurch es sehr schwer wird, eine scharfe Grenze zwischen beiden Classen von Körpern zu ziehen, wozu noch kommt, daſs zufällige Bestimmungen, die das Wesen der Körper an und für sich nicht ändern, ihre Leitungsfähigkeit auf die auffallendste Weise modificiren und einen Leiter in einen relativen Nichtleiter und umgekehrt verwandeln können, auch die Leitungsfähigkeit noch auſserdem eine relative in Beziehung auf die Intensität der Elektricität ist, indem gröſsere elektrische Intensitäten von denselben Körpern geleitet werden, welche eine Elektricität von schwächerer Spannung nicht mehr zu leiten im Stande sind. Es liegt schon in der Natur der Sache, daſs es eben so wenig einen absoluten (vollkommnen) Leiter, als einen absoluten (vollkommnen) Nichtleiter oder Isolator giebt. So weit selbst der beste Leiter allezeit der Verbreitung der Elektricität noch einigen Widerstand leistet, trägt er gleichsam noch etwas von isolirender Eigenschaft an sich, und insofern selbst der vollkommenste Isolator wenigstens nicht auf eine absolute unendliche Weise

der Fortpflanzung der Elektricität Widerstand leistet, besitzt er mindestens noch etwas von dem Leitungsvermögen der sogenannten leitenden Körper. Will man nun die verschiedenen Grade des Leitungsvermögens bestimmen, so kann man sie entweder nach der *Geschwindigkeit* abmessen, mit welcher die Körper die Elektricität fortleiten, d. h. nach der Zeit, innerhalb welcher verschiedene Ausdehnungen der Körper an dem elektrischen Processe, mit welchem sie in Wechselwirkung treten, theilnehmen, oder auch nach der *Menge* von Elektricität, welche die verschiedenen Körper in gleicher Zeit durch sich leiten, oder der entgegengesetzten Elektricitäten, welche sie in sich ausgleichen. Diese Menge ist dann wieder entweder an und für sich bestimmbar, oder irgend eine ihrer Gröſse nach genau bestimmbare Veränderung giebt das Maſs derselben. Die Bestimmung der Güte der Leitung unmittelbar aus der Geschwindigkeit der Fort- und Durchbewegung ist nicht wohl anwendbar, weil diese Geschwindigkeit bei allen guten Leitern, sofern von der Durchbewegung durch eine Strecke die Rede ist, die wir überhaupt noch mit einiger Bequemlichkeit in das Experiment ziehen können, instantan zu seyn scheint und nur etwa auf eine indirecte Weise in dieser scheinbar instantanen Bewegung sich noch verschiedene Grade von Geschwindigkeit ausmitteln lassen durch die Gröſse gewisser Veränderungen, die eine Function der verschiedenen Geschwindigkeiten selbst zu seyn scheinen. Es bleibt also nur der zweite Maſsstab übrig. Zu seiner richtigen Anwendung ist aber vorzüglich nöthig, gehörige Rücksicht auf die Umstände zu nehmen, die neben der eigenthümlichen Beschaffenheit der Körper einen wesentlichen Einfluſs auf ihr Leitungsvermögen ausüben. In dieser Hinsicht haben die Versuche mit den Metallen zu den wichtigsten und genauesten Resultaten geführt, die uns erst in den Stand setzten, eine eigentliche Scale des Leitungsvermögens der Körper aufzustellen. Cavendish hat schon im Jahre 1776 sehr genau den Einfluſs, welchen die Ausdehnung eines Leiters sowohl der Länge, als dem Durchschnitte nach auf sein Leitungsvermögen ausübt, gekannt, jedoch ist er uns die nähere Angabe der Versuche, wodurch er zu den wichtigen Resultaten gelangte, von welchen weiter unten näher die Rede seyn wird, schuldig geblieben. In neuern Zeiten hat Humphry Davy diese Resultate durch eine Reihe von Versuchen, die genau von ihm beschrieben sind, vollkommen be-

stätigt und noch erweitert. 1) Was zuerst den Einfluſs der verschiedenen Länge betrifft, so fand derselbe, daſs bei sonst unverändert bleibenden Verhältnissen und zwar zunächst der metallischen Leiter die *Leitung im umgekehrten einfachen Verhältnisse der Länge derselben stehe.* Um dieses Resultat mit Sicherheit auszumitteln, bediente sich Davy Volta'scher Batterieen unter der Form von Trogapparaten, deren vollständige Entladung durch Verbindung ihrer beiden Pole durch Drähte er auf die Weise ausmittelte, daſs er von derselben Batterie zu gleicher Zeit feine Silberdrähte in eine Gasentbindungsröhre hineinleitete, wo dann das völlige Ausbleiben aller Gasblasen die vollständige Entladung anzeigte. Hierbei zeigte sich nun, daſs, um die Elektricität von solchen Volta'schen Batterieen von verschiedener Stärke vollständig durch sich durchzuleiten, die Länge desselben Leiters dieser Stärke umgekehrt proportional seyn muſste. Wenn z. B. 6 Zolle Platindraht von $\frac{1}{110}$ Zoll Dicke die Elektricität von 10 Plattenpaaren vollständig entluden, so entluden 3 Zolle die Elektricität von 20, 1,5 Zolle von 40 und 1 Zoll von 60 solcher Plattenpaare. Um den Einfluſs der verschiedenen Erhitzung dieser Drähte auf ihr Leitungsvermögen zu beseitigen, wurden dieselben unter eine nichtleitende Flüssigkeit gebracht, unter welcher ihre Temperatur merklich dieselbe blieb.

2) Ein zweiter Umstand, der auf die Güte der Leitung bei denselben Körpern Einfluſs hat, ist die *Dicke* oder *Masse.* Im Allgemeinen steht Davy's Versuchen zufolge die Leitung bei gleicher Länge im geraden Verhältnisse mit der Dicke oder vielmehr der Masse. Wenn ein Platindraht von einer gegebenen Länge eine Volta'sche Batterie von einer bestimmten Anzahl von Platten vollständig zu entladen im Stande war, so reichte bei 6mal gröſserer Masse dieselbe Länge hin, sechs solcher Batterieen zu entladen, wobei der Erfolg derselbe blieb, ob er einen einzelnen Draht von 6facher Masse oder sechs kleinere Drähte, die einander berührten, nahm, wofern nur die Drähte kalt erhalten wurden, weil sonst die Erhitzung das Leitungsvermögen schwächte. Dieses Resultat ist darum höchst merkwürdig, weil es beweist, daſs die Leitung wenigstens für die mit so schwacher Spannung begabte Elektricität der Volta'schen Apparate keine Function der Oberfläche der Leiter ist, vielmehr auch der metallische Leiter mit seiner ganzen Masse und in seinem Innern mit in den Proceſs gezogen wird. Dieses merkwürdige

Resultat wurde noch durch einen anderweitigen Versuch bestätigt. Davy liefs nämlich von zwei gleich langen Platindrähten den einen flach walzen, so dafs er eine 6- bis 7mal gröfsere Oberfläche bekam, in welchem Falle sich dieser zwar in der Luft als der bessere Leiter verhielt, weil er sich in ihr schneller abkühlte, im Allgemeinen aber zeigte sich keine Verschiedenheit des Leitungsvermögens, als beide Drähte von Wasser umgeben waren.

Eine noch genauere Resultate gewährende Methode wandte später Becquerel an[1]. Er findet die Methode Davy's nicht geeignet, das Leitungsvermögen der Metalle für Elektricität in aller Schärfe zu bestimmen, weil sie der Erfahrung zuwider voraussetzt, dafs jedes Plattenpaar der Säule eine gleiche Menge von Elektricität zu dem Strome liefere, (indem nämlich Davy die Quantitäten der Elektricität, welche fortgeleitet werden sollen, der Zahl der Plattenpaare der Batterie proportional setzte,) und eben so unrichtig auf den Grundsatz gebaut ist, dafs eine gleiche Anzahl von Plattenpaaren stets mit gleicher Thätigkeit wirke und dafs eine Säule vollständig entladen sey, weil sie aufhöre, Wasser zu zersetzen. Aus diesen Ursachen wählte er das nachfolgende sinnreiche, jedoch in der wirklichen Ausführung mit gröfseren Schwierigkeiten, als das von Davy angewandte, verknüpfte Verfahren, sofern nämlich die gröfste Genauigkeit dadurch erreicht werden soll. Zwei mit Seide übersponnene Kupferdrähte aefb und cghd, jeder ungefähr 20 Meter lang und ½ Millimeter dick, wurden zusammen in gleichem Sinne um einen hölzernen Rahmen gewunden und die vier Enden dieser Drähte in die mit Quecksilber gefüllten Schälchen a, b, c, d getaucht. In diese Schälchen reichten auch die Drähte Pa, Pd, Nb, Nc, von denen die beiden ersten mit dem Pole P und die beiden andern mit dem Pole N verbunden sind. Durch diese Anordnung mufs sich der elektrische Strom einer Volta'schen Batterie auf die beiden Bogen PaefhN und NcghaP vertheilen und, wie man leicht aus der Zeichnung ersieht, die beiden Drähte des Galvanometers oder Multiplicators GG′ in entgegen- Fig. 26.

1 S. Ann. de Chimie et Phys. T. XXXII. p. 420. Vergl. Poggendorff's Annalen der Physik. VIII. S. 356. und Berzelius VI. Jahresbericht S. 16, wo sich jedoch eine bedeutende Unrichtigkeit in der Beschreibung des Verfahrens eingeschlichen hat.

gesetzter Richtung durchlaufen. Die Magnetnadel sn im Innern des Apparats wird also, wenn die beiden Drahtleitungen einander gleich sind oder durch Adjustirung der mit den Polen verbundenen Drahtstücke einander gleich gemacht werden, keine Ablenkung erleiden. Diesen Zweck wird man am sichersten erreichen, wenn man erst einen der vier Drähte, die mit den Polen der Batterie communiciren, länger als die andern nimmt und ihn hierauf allmälig verkürzt, bis die Magnetnadel keine Ablenkung mehr zeigt.

Die Nadel wird auch dann keine Abweichung erleiden, wenn man die Schälchen a und b, c und d durch Drähte verbindet, die eine gleiche Menge von Elektricität durchlassen, indem jedem der Drähte des Galvanometers dann eine gleiche Gröfse entzogen wird. Geschieht aber diese Verbindung durch Drähte, die ungleich leiten, so wird die Nadel abgelenkt und zwar von Seiten der Drahtwindungen, deren Wirkung dadurch am wenigsten geschwächt worden ist. So z. B. wird der Bogen PaefbN der überwiegende seyn, wenn von den die Schälchen direct verbindenden Drähten der zwischen a und b am wenigsten leitet, und man hat entweder die Leitung zu verstärken, oder die zwischen c und d zu schwächen, wenn der Bogen NcghdP dem ersteren wieder das Gleichgewicht halten, also die Nadel zur anfänglichen Stellung zurückkehren soll. Es ist klar, dafs sich auf diese Art ausmitteln läfst, welche Lange, Dicke und Temperatur man Drähten von gleicher oder verschiedener Natur zu geben habe, damit sie einer gleichen Menge von Elektricität den Durchgang gestatten, und eben darauf beruht Becquerel's Methode, den Einflufs aller dieser Umstände auf das Leitungsvermögen mit möglichster Schärfe zu bestimmen. Er hat jedoch den Einflufs der Temperatur nicht zum Gegenstande seiner Untersuchungen gemacht und sich vielmehr begnügt, die Drähte sämmtlich bis auf die Temperatur des schmelzenden Eises zu erkälten, auch sorgte er vermittelst eines passenden Gestells dafür, dafs sie auf gleiche Weise und mit beiden Enden zugleich mit dem Quecksilber der Schälchen in Berührung kamen.

Was nun zuerst den Einflufs der Länge betrifft, so fand er, dafs, wenn man bei einem Apparate, wie der abgebildete ist, die Schälchen a und b durch *einen* Kupferdraht von beliebiger Dicke und von der Länge eines Decimeters verbindet, man die Schälchen c und d entweder durch zwei Kupferdrähte von

2 Decimetern Länge oder durch 3 Kupferdrähte von 3 Decimetern Länge und so weiter, alle diese Drähte von gleicher Dicke mit dem erstern vorausgesetzt, verbinden müsse, wenn die Magnetnadel in ihrer natürlichen Lage bleiben soll. Hieraus ergiebt sich nach Becquerel unmittelbar die Folgerung, dafs, um denselben Grad der Leitung in zwei Drähten von demselben Metalle zu erhalten, ihre Gewichte den Quadraten ihrer Länge proportional oder die Längen im Verhältnisse der Durchschnitte der Drähte seyn müssen. Um jedoch diese Folgerung in solcher Allgemeinheit aufstellen zu können, hätte Becquerel die Versuche auch mit Drähten von verschiedener Form und damit gegebener verschiedener Oberfläche bei demselben Gewichte anstellen sollen. Denn wenn auch z. B. bei der dreifachen Länge drei Drähte von derselben Dicke erforderlich waren, um dieselbe Leitung zu geben, wie ein Draht von der einfachen Länge, so folgt noch nicht, dafs dieses auch der Fall gewesen seyn würde bei der Anwendung nur eines Drahtes von der 3fachen Länge, aber von einer solchen Dicke, dafs das Gewicht desselben das 9fache gewesen wäre. Doch wird dieser Versuch einigermafsen durch einen andern ergänzt, der zugleich die Resultate von H. Davy's Versuchen über den Einflufs der Masse des Leiters auf die Leitung und überhaupt das allgemeine Resultat bestätigt, dafs das Leitungsvermögen desselben Metalls im zusammengesetzten umgekehrten Verhältnisse der Länge und geraden der Masse steht. Denn wenn dieses Verhältnifs richtig ist und man vergleicht zwei Drähte von demselben Metalle mit einander, wovon die Länge des einen l, sein Gewicht P und l′ die Länge des andern und P′ sein Gewicht sey, so mufs, wenn ihre Leitung gleich ist, $\frac{P}{P'} = \left(\frac{l}{l'}\right)^2$ seyn. Nun fand Becquerel in der That, dafs ein Kupferdraht von 110 Millimetern Länge und einem Gewichte von 8,427 Grammen und ein anderer von 34 Millimetern Länge und einem Gewichte von 0,040 Grammen denselben Grad der Leitung gaben. Aber $\frac{P}{P'} = 10,67$ und $\left(\frac{l}{l'}\right)^2 = \left(\frac{110}{34}\right)^2 = 10,4$, eine Abweichung von der Gleichheit, die so gering ist, dafs sie wohl als innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler liegend bei so feinen Versuchen angenommen werden kann.

Fast gleichzeitig mit Becquerel hat auch Barlow[1] Versuche über den Einflufs der Länge der Metalldrähte auf das Leitungsvermögen angestellt und will gefunden haben, dafs dasselbe bei einem und demselben Drahte sich umgekehrt verhalte, wie die Quadratwurzel seiner Länge. Poggendorff erinnert jedoch mit Recht gegen dieses Resultat, dafs, wenn auch die Versuche Barlow's an und für sich richtig sind, doch die von ihm daraus gezogenen Resultate es nicht seyn können, weil er von der unrichtigen Annahme ausgehe, dafs die Kraft eines im magnetischen Meridiane liegenden Schliefsungsdrahtes auf die Magnetnadel unter ihm proportional sey der Tangente des Winkels, um welchen er diese Nadel ablenkt, in welcher Hinsicht man nur den lehrreichen Aufsatz von G. G. Schmidt[2] vergleichen darf.

Es ist aber noch ein Umstand, der die Resultate von Barlow's Versuchen unsicher macht, auf welchen Schweigger aufmerksam gemacht hat[3]. Um seine Beobachtungen auf eine constante Kraft der Elektricität zu reduciren, nimmt Barlow an, dafs für *schwächere* und *stärkere Elektricität dasselbe Leitungsgesetz* gelte. Diese Voraussetzung ist aber unstatthaft und es mufs vielmehr auch die Stärke der elektrischen Kraft als Function in die Formel aufgenommen werden. Schweigger fand nämlich durch directe Versuche, dafs bei sehr schwacher Elektricität, wenn z. B. die Tröge mit Brunnenwasser gefüllt sind, es keinen merklichen Unterschied macht, ob die Leitung durch einen kurzen oder langen metallischen Bogen geschieht, dafs aber bei Verstärkung der elektrischen Thätigkeit durch eine stärker chemisch wirkende Flüssigkeit, z. B. durch Salmiakauflösung oder durch Säure, der Unterschied so auffallend wird, dafs bei einer Verlängerung des metallischen Bogens, die in dem erstern Falle ohne Einflufs gewesen, so gut wie völlige Isolation statt findet.

Barlow stellte auch Versuche über das Leitungsvermögen von Kupfer- und Messingdrähten von verschiedener Dicke an[4],

---

1 Edinburgh Philosoph. Journal. Vol. XII. p. 105. Schweigger's Journ. XIV. 119 und 362.

2 G. LXX. 243.

3 Schweigger's Journ. N. R. XIV. 119. 363.

4 Ebend. XIV. 368.

deren Resultat war, dafs bei der Anwendung des elektrischen Stromes eines sogenannten Hare'schen Calorimotors[1], wenn der leitende, zwei Fufs lange Draht weniger als 180 Gran wog, seine Wirkung auf die Nadel in Vergleichung mit dem, der 470 Gran wog, schwächer war, dafs aber diese Kraft weder sonderlich erhöht, noch vermindert wurde, als Drähte in Anwendung kamen, die nahe an 4000 Gran wogen. Dafs dieses Resultat kein allgemeines Gesetz für den Einflufs der Masse auf das Leitungsvermögen geben kann, leuchtet schon durch die Erwägung ein, dafs, wenn einmal der Draht eine Dicke erreicht hat, welche eine eben so vollkommene Leitung gewährt, als der Calorimotor selbst, jeder weitere Zusatz von Dicke die Wirkung auf die Magnetnadel dann nicht weiter verstärken kann.

Pouillet[2] bediente sich, um das Gesetz des *Einflusses der Länge* der Metalldrähte auf ihr Leitungsvermögen zu prüfen, eines einfachen Electromotors von sehr grofser Oberfläche. Er fand hierbei, dafs die Tangenten der Ablenkungen, welchen die elektromagnetischen Kräfte bei seinem Apparate proportional waren, niemals im umgekehrten Verhältnisse der Längen standen. Dagegen verhielten sie sich umgekehrt wie diese Längen, wenn sie um eine constante Gröfse $= \lambda$ vermehrt wurden, so dafs $\frac{\lambda + l}{\lambda + l'} = \frac{t}{t'}$ u. s. f. war, was Pouillet richtig aus dem Widerstande des Electromotors selbst, der mit in Betracht kommt und einen aliquoten Theil des ganzen Widerstandes ausmacht, erklärt.

Das ungleiche Leitungsvermögen desselben Metalls bei verschiedener Länge war auch Gegenstand von Untersuchungen, welche Ohm[3] angestellt hat. Er bemerkt gegen Becquerel's sinnreichen Apparat, dafs er nicht zur Erhaltung der von diesem Physiker aus seinen damit angestellten Versuchen gezogenen Resultate mit Sicherheit anwendbar sey, weil bei Anwendung der langen Leitung im Multiplicator blofs eine im Verhältnisse dazu sehr geringe Länge in der Totalleitung verändert werde, um aus dieser nachher das Leitungsvermögen zu berechnen. Dagegen läfst sich aber erinnern, dafs eine solche Berechnung

1 Dieses Wörterb. Th. IV. Abth. II. S. 692.

2 Élémens de Physique expérimentale. T. I. 754.

3 Schweigg. Journ. N. R. XIV. 110. 369.

durch Beziehung der Länge der Drahtstücke, welche die Quecksilbernäpfchen mit einander verbinden, auf die Länge des Multiplicators gar nicht erforderlich ist, sondern daſs diese Drahtstücke selbst nur unter einander verglichen zu werden brauchen und bei der verhältniſsmäſsig viel gröſseren Menge von Elektricität, welche durch sie als durch den langen Multiplicator hindurchströmt, kleine Verschiedenheiten in ihrer Länge, Masse und sonstigen Beschaffenheit sich in der Abweichung der Magnetnadel sogleich offenbaren werden, und daſs endlich jeder Fehler, der bei der Berechnung der Stärke des Stromes aus der verschiedenen Abweichung der Magnetnadel so leicht begangen werden kann, bei Becquerel's Verfahren gänzlich wegfällt, sobald man nur immer die Umstände so abändert, daſs von beiden Seiten gleiche Leitung statt findet, die sich immer mit Sicherheit aus dem stationären Stande der Nadel ergeben wird. Eben weil Ohm den Grad der Leitung durch Drähte von demselben Metalle, aber von verschiedener Länge aus der Gröſse der Abweichung der Magnetnadel, die an einem Coulomb'schen Drehapparate hing, berechnete, wobei Fehler auf mannigfaltige Weise begangen werden können, dürfen wir den Resultaten seiner Versuche vor denen Davy's und Becquerel's keinen Vorzug einräumen und müssen übrigens, was die allgemeine algebraische Formel betrifft, unter welche er die von ihm erhaltenen Resultate zu bringen versucht hat, auf seine Abhandlung selbst verweisen.

Daſs dieselben Gesetze für den Einfluſs der Länge und des Durchschnittes oder der Masse auf das Leitungsvermögen auch für weniger vollkommene Leiter, wie die Metalle, namentlich das Wasser, die Auflösungen der Salze im Wasser, ja selbst für die Isolatoren, daſs sie ferner nicht bloſs für die galvanisch erregte Elektricität, sondern auch für die durch Reibung erzeugte gelten, ist zwar bis jetzt nicht durch gleich genaue Versuche ausgemittelt, ergiebt sich aber doch mit groſser Wahrscheinlichkeit aus den bereits in dieser Hinsicht angestellten. Da Cavendish aus dem Umstande, daſs die Elektricität bei dem Durchgange durch einen Draht von 400,000,000 Zoll Länge nicht mehr Widerstand findet, als durch eine Wassersäule von 1 Zoll Länge, auf ein 400,000,000 mal besseres Leitungsvermögen des Metalles als des Wassers für Elektricität schloſs, so ergiebt sich ohne Weiteres, daſs er die Leitung der Elektricität auch durch

das Wasser im umgekehrten Verhältnisse seiner Länge gefunden haben mufste. Aber schon vor Cavendish fand Beccaria[1] durch genaue Versuche mit der Leidner Flasche, in deren Entladungskreis er mit Wasser gefüllte Röhren von verschiedener Weite gebracht hatte, dafs der Widerstand gegen die Elektricität um so gröfser war, je enger diese Röhren, dafs, wenn die Röhren sehr eng waren, sie keinen Schlag durchliefsen und dafs der Schlag um so stärker war, je weiter die dazu gebrauchten Röhren waren.

Später hat Volta dieselben Versuche wieder aufgenommen und die Versuche mit dem Multiplicator haben uns in den Stand gesetzt, auch für die Flüssigkeiten diesen Einflufs der Länge und des Durchschnittes auf die Leitung noch genauer zu bestimmen, worüber im Artikel *Galvanismus*[2] das Nähere zu vergleichen ist.

3) Noch ist ein dritter Umstand in Betracht zu ziehen, der auf die Gröfse des Leitungsvermögens bei einem und demselben Körper den gröfsten Einflufs äufsert und dessen Werth erst genauer zu bestimmen ist, ehe wir die Körper in ihrer naturgemäfsen Ordnung nach dem Grade ihres Leitungsvermögens näher betrachten können, nämlich die *Temperatur.* Bis zu den merkwürdigen Versuchen Davy's in dieser Hinsicht hatte man in der Elektricitätslehre allgemein angenommen, dafs die Zunahme der Temperatur das Leitungsvermögen der Körper erhöhe und dafs im Verhältnisse der Erhitzung die Körper durch alle Grade der Leitungsfähigkeit hindurchgeführt und selbst die stärksten Isolatoren in die vollkommensten Leiter verwandelt werden können. Dieser Satz gilt indefs nicht mehr in seiner früheren Allgemeinheit und das gleichsam entgegengesetzte Verhalten der vollkommenen Leiter und der relativ gegen sie sehr unvollkommenen, des Wassers und der salzigen Flüssigkeiten, noch mehr aber der Isolatoren, stellt alle Körper in Hinsicht auf das Leitungsvermögen in zwei scharf von einander abgegrenzte Classen.

Von frühern Elektrikern haben besonders Priestley und Achard den Einflufs der Erhitzung auf Erhöhung des Leitungsvermögens der Isolatoren aufser Zweifel gesetzt. Priestley[3]

---

1 Elletricismo artificiale e naturale. p. 113.

2 Dieses Wörterb. Th. IV. Abth. 2. S. 789, 790, 890, 896.

3 Geschichte der Elektricität. S. 402.

verschaffte sich eine unten zugeschmolzene Glasröhre von 4 Fuſs Länge, füllte dieselbe bis zu 9 Zoll Höhe mit Quecksilber, belegte sie bis zu dieser Höhe auswärts mit Zinnfolie, lud sie dann, goſs hierauf das Quecksilber aus, kratzte die Zinnfolie ab und machte diesen unteren geladenen Theil der Röhre glühend. Der Erfolg war, daſs die Ladung völlig aufgehoben wurde. Dieser Versuch ist darum besonders merkwürdig, weil er beweist, daſs die Elektricität durch die Masse des Glases hindurchgeleitet worden war, da die 6 Fuſs Oberfläche, 3 auf jeder Seite, die gröſstentheils kalt und dabei vollkommen trocken waren, der Elektricität des innern und des äuſsern Belegs keine Leitung gewähren konnten[1]. Diejenigen, welche gegen jedes elektrische Fluidum protestiren und alles auf bloſse Thätigkeit und Polarität zurückführen wollen, werden in diesem Versuche die Aehnlichkeit mit dem Magnete, der durch das Glühen gleichfalls seine Pole verliert und indifferent wird, geltend machen. Gegenversuche bewiesen dem Priestley, daſs die Röhre, in allem übrigen auf gleiche Weise behandelt, auſser daſs sie nicht erhitzt wurde, in gleicher Zeit von ihrer Ladung nur wenig verloren hatte.

Priestley fand ferner, daſs im Backofen getrocknetes Holz, dessen er sich zu einem Isolatorium bedienen wollte, diesen Zweck durchaus nicht leistete, wenn es eben aus dem Backofen genommen noch ganz heiſs angewandt wurde, weil sich die Elektricität schleunig durch dasselbe nach dem Erdboden verlor, und daſs es erst nach der Abkühlung sich als Isolator verhielt. Aus einem elektrisirten Conductor konnte er mit solchem recht heiſsen Holze einen langen Funken ziehen und eine geladene Flasche wurde durch dasselbe zwar ohne Geräusch, aber eben so gut, wie durch feuchtes Holz, entladen.

Besonders entscheidend sind in dieser Hinsicht Achard's Versuche[2]. Er fand, daſs die vollkommensten Isolatoren, namentlich eine *Glasstange*, rothglühend gemacht, geschmolzenes *Siegellack*, *Pech*, *Bernstein*, *Schellack*, *Wachs*, in den Erschütterungskreis gebracht, die Leidner Flasche eben so voll-

---

1 Eine analoge Erscheinung der Durchleitung der Elektricität durch das erwärmte Glas ist übrigens schon unter dem Artikel *Leidner Flasche* Th. IV. Abth. 1. S. 412. angeführt worden.

2 Journal de Physique. 1780. T. XV. p. 118.

kommen entladen, wie jeder andere Leiter. Eben so verhielten sich die flüssigen Nichtleiter bei der Erhitzung. ACHARD liefs von dem innern Belege einer geladenen Flasche einen Messingdraht in Terpentinöl von der Temperatur = — 8° R. gehen, konnte aber keine Entladung bewirken, als er einen mit der äufsern Belegung communicirenden Draht der Oberfläche desselben näherte, so wie er aber dasselbe zum Kochen brachte, konnte er Funken wie aus einem eisernen Drahte daraus ziehen. Den *Schwefel* fand ich selbst im *geschmolzenen Zustande* als einen Leiter. Auch für die mit so höchst schwacher Spannung begabte Elektricität einer gewöhnlichen Volta'schen Säule fand ich rothglühendes Glas, geschmolzenes Siegellack als gute Leiter.

Dafs viele unvollkommene Leiter durch Erwärmung bis zu einem gewissen Grade vielmehr von ihrem Leitungsvermögen verlieren, zu wahren Isolatoren werden, steht jenem allgemeinen Gesetze der Wirkungsart der Wärme nicht entgegen, da jene Veränderung nur von denjenigen Körpern gilt, welche ihre leitende Eigenschaft ihrer hygroskopischen Feuchtigkeit verdanken, durch deren Entfernung die Abnahme ihre Leitungsfähigkeit, die nur von dieser abhängt, allerdings gröfser ist, als die Zunahme des Leitungsvermögens vermöge der Erwärmung. Dieses gilt namentlich von den meisten Steinen, besonders dem Marmor, vom Holz, Papier, Pergament, Leder, Leinwand, Wolle; doch werden alle diese Körper allmälig wieder bessere Leiter, so wie nach der vollkommenen Austrocknung die Erwärmung allmälig noch weiter zunimmt. Erhitzt man daher den Cylinder oder die Scheibe einer Elektrisirmaschine zu stark, um sie von der anhängenden Wasserhaut zu befreien, so leisten sie anfangs nur geringe Dienste.

Auch für die flüssigen Leiter, wie *Wasser* und die *Salzauflösungen* aller Art, gilt es ganz allgemein, dafs ihr Leitungsvermögen für Elektricität erhöht wird, wie namentlich aus MARIANINI's in dieser Hinsicht mit Genauigkeit angestellten Versuchen erhellt, von denen bereits unter dem Artikel *Galvanismus*[1] Rechenschaft gegeben worden ist. Merkwürdig war es hierbei, dafs die Zunahme des Leitungsvermögens bei verschiedenen Flüssigkeiten um so geringer ausfällt, je bessere Leiter diese Flüssigkeiten an und für sich sind.

---

1 Dieses Wörterb. Bd. IV. Abth. 2. S. 790.

Ueberraschen mufs es nun in hohem Grade, dafs gerade für die vollkommensten Leiter, *die Metalle*, dieser Einflufs der Erwärmung auf die Leitungsfähigkeit sich auf eine ganz entgegengesetzte Weise verhält, indem diese mit der *Erwärmung vielmehr abnimmt* und mit der *Erkältung wächst*. Dieses interessante Resultat erhielt H. Davy [1] durch ganz ähnliche Versuche, wie diejenigen, von denen bereits oben die Rede gewesen, durch welche derselbe den Einflufs der Länge und Masse auf das Leitungsvermögen ausmittelte. Wurde z. B. ein 3 Zolle langer und $\frac{1}{220}$ Zoll dicker Platindraht unter Oel kalt erhalten, so entlud er vollständig die Elektricität zweier Batterieen oder von zwanzig Doppelplatten, vermochte aber in der Luft, in der die Entladung ihn erhitzte, blofs eine Batterie zu entladen. Hierbei ist es einerlei, ob die Hitze des Drahtes durch die Elektricität selbst oder ob sie von irgend einer andern Ursache hervorgebracht wird. Ein Platindraht z. B., der eine solche Länge und Dicke hatte, dafs er eine grofse Anzahl von Doppelplatten entlud, ohne dadurch bedeutend erhitzt zu werden, verlor, wenn ein Theil desselben mittelst einer Weingeistlampe rothglühend gemacht wurde, das Vermögen, die gesammte Elektricität dieser Batterie zu entladen, wie sich durch die starke Gasentbindung zeigte, die in der zweiten halbschliefsenden Kette (in der Röhre nämlich, in welche von der Batterie aus feine Silberdrähte gingen) statt fand und welche sogleich aufhörte, wenn man die Quelle der Hitze entfernte. Ein gleiches Resultat zeigte ein anderer Versuch, der durch die damit verbundenen Umstände etwas sehr Auffallendes hat. Hatte z. B. Davy in einem Volta'schen Kreise einen 4 bis 5 Zoll langen so dünnen Platindraht angebracht, dafs die Elektricität, welche durch ihn hindurchging, ihn in seiner ganzen Länge rothglühend machte, und brachte er irgend einen Theil desselben durch die Flamme einer Spirituslampe, welche er darunter hielt, zum *Weifsglühen*, so erkaltete augenblicklich der Ueberrest des Drahtes bis unter die Temperatur des sichtbaren Glühens, und hielt er umgekehrt an irgend eine Stelle des rothglühenden Drahtes ein Stück Eis oder trieb auf sie einen Strom kalter Luft, so wurden augenblicklich alle übrige Theile des Drahtes viel heifser und kamen vom Rothglühen zum Weifsglühen.

---

1 G. a. a. O. 249.

Die hier vorangeschickten Resultate haben uns nun den Weg gebahnt, die verschiedenen Körper selbst in Rücksicht auf ihr Leitungsvermögen mit einander zu vergleichen und den Einflufs, den ihre besondere Natur und Qualität auf dasselbe hat, mit Genauigkeit bestimmen zu können. Da nämlich Masse, Ausdehnung in die Länge und Temperatur das Leitungsvermögen eines jeden Körpers so auffallend modificiren, so begreift man von selbst, dafs der Antheil, den bei jedem Körper seine besondere Natur an seinem Leitungsvermögen hat, nur dann richtig bestimmt wird, wenn die Körper unter gleichen Verhältnissen der Länge den Durchschnitten und der Temperatur nach mit einander verglichen werden. Da ferner das Leitungsvermögen, wie es scheint für alle Körper, im umgekehrten Verhältnisse der Länge steht, in welcher sie bei gleichem Durchschnitte in den leitenden Kreis aufgenommen werden, so sieht man zugleich, dafs die *verschiedenen Längen*, bei welchen die verschiedenen Körper *einen gleichen Grad von Leitung* gewähren, unmittelbar das Mafs ihres Leitungsvermögens sind, dagegen bei denselben Graden der Leitung das Leitungsvermögen der verschiedenen Körper bei gleicher Länge, in welcher sie angewandt werden, im *umgekehrten Verhaltnisse der Durchschnitte* stehen wird.

IV. Reihe der Leiter und Nichtleiter nach dem Grade ihres Leitungsvermögens geordnet.

A. Leiter.

a) *Metalle.* Die vollkommensten Leiter sind die Metalle und sie übertreffen in dieser Hinsicht in einem ganz aufserordentlichen Grade alle übrige Leiter. Nimmt man das Leitungsvermögen des Wassers als Einheit an, so kann man das der Metalle im Allgemeinen wohl als mehrere millionenmal gröfser betrachten. Cavendish hat, wie bereits bemerkt wurde, dasselbe auf 400,000,000 mal gröfser geschätzt. Ich fand[1] bei Vergleichung des Leitungsvermögens einer concentrirten Sal-

1 Der Elektromagnetismus. S. 98.

miakauflösung mit Eisendraht, daſs, um einen gleichen Grad von Leitung zu gewähren, bei gleicher Länge eine Säule der Flüssigkeit von einem 247416 mal gröſseren Durchschnitte erforderlich war, was mit dem Resultate von Cavendish wohl zusammenstimmt, da man ohne Fehler annehmen kann, daſs eine solche Salmiakauflösung mehrere hundertmal besser leitet, als destillirtes Wasser. Nach Davy's Versuchen [1] entlud eine gesättigte Lösung von Kochsalz von einem Zoll Ausdehnung, an beiden Seiten in Berührung mit Platin, dessen an die Lösung angrenzende Oberfläche 7,2 Quadratzolle betrug, nicht völlig zwei Paar Platten jener Batterie, welche Davy in diesen Versuchen gewöhnlich anwandte, während ein Platindraht von 1 Zoll Länge und $\frac{1}{220}$ Zoll Durchmesser 60 Paar völlig entlud. Das auſserordentliche Leitungsvermögen der Metalle ergiebt sich auch aus der Geschwindigkeit, mit welcher die Elektricität durch die gröſsten bis jetzt versuchten Strecken fortgeleitet wird. Die dahin gehörigen Versuche sind bereits unter dem Artikel *Leidner Flasche* [2] angeführt worden. Aus diesen ergiebt sich, daſs wenigstens für eine Strecke von 6000 Fuſs die Durchbewegung instantan war, ein Resultat, wodurch frühere Versuche Beccaria's [3], welcher schon für eine Strecke von 500 par. Fuſs eine Zeit von 0,5 Secunde zur Fortleitung beobachtet haben wollte, als irrig dargestellt werden.

Ein Gegenstand vielfacher Untersuchungen ist dann ferner die Ausmittelung der *Stufenfolge* der Metalle unter sich in Rücksicht auf ihr Leitungsvermögen gewesen. Die ersten Versuche dieser Art hat Priestley [4] nach einem vom Dr. Franklin ihm gemachten Vorschlage angestellt. Er lieſs zu diesem Ende den Schlag einer Batterie jedesmal durch zwei an einander gehakte Drähte von gleicher Länge und Dicke, deren relatives Leitungsvermögen er mit einander vergleichen wollte, gehen und bestimmte dadurch zunächst nur die Ordnung, in welcher die Metalle durch diesen Schlag mehr oder weniger leicht geschmolzen oder gar zerstreut wurden. Sie war folgende, von dem am leichtesten schmelzbaren anhebend: *Eisen, Messing, Kupfer,*

1 G. LXXI. 254.

2 Dieses Wörterb. Th. IV. Abth. 1. S. 587.

3 Priestley's Geschichte der Elektricität. S. 136.

4 Ebend. S. 486.

Silber, Gold. Wurde das eine Metall zerstreut, während das andere nur theilweise geschmolzen wurde, so brachte Priestley die völlige Zerstreuung als gröfseren Grad der Schmelzbarkeit in Rechnung. So zeigte sich bei Vergleichung des Kupfers mit Silber, dafs der silberne Haken blofs abgeschmolzen war, als das Kupfer zerstreut ward. Da er sich keine bleiene und zinnene Drähte verschaffen konnte, so nahm er Stücke dieser Metalle, welche in Platten von gleicher Dicke gerollt waren, schnitt Streifen von einerlei Länge und Breite daraus, liefs den Schlag hindurch gehen und fand, dafs das Blei am ersten nachgab. Priestley bemerkt sehr richtig, dafs diese Ordnung nicht mit derjenigen der Schmelzbarkeit der Metalle durch die Wärme übereinstimme, und scheint dieselbe als die Ordnung der Leitungsfähigkeit für Elektricität anzusehn, also zunehmend vom Eisen zum Golde, was man wenigstens daraus abnehmen kann, dafs er bei Vergleichung des Bleies mit dem Zinne bemerkt, er habe erwartet, das Zinn würde eher als das Blei schmelzen, allein nach Wilken's Versuchen sey das Blei ein schlechterer Leiter, als irgend ein anderes Metall.

Diese Art von Versuchen ist später sehr vervielfältigt und noch bestimmter zur Ausmittelung der Ordnung der Leitungsfähigkeit benutzt, aber von den verschiedenen Physikern in einem entgegengesetzten Sinne gedeutet worden. Van Marum hat vorzüglich genauere Versuche über die verschiedene Schmelzbarkeit der Metalle durch elektrische Entladungen angestellt [1]. Nach ihm sind die Metalle in folgender Ordnung schwerer schmelzbar: *Zinn* und *Blei* mit sehr geringem Unterschiede, *Eisen* mit einem äufserst geringen Unterschiede von den vorigen, *Gold* mit einem mäfsigen von Eisen, *Messing* und *Silber* mit einem geringen Unterschiede unter sich, aber mit einem beträchtlichen vom Golde, *Kupfer* endlich wieder mit einem grofsen. Van Marum fand [2], dafs, wenn er in drei verschiedenen Versuchen neben Drähten von Kupfer, Eisen und Messing, alle drei von 14 Zoll Länge und $\frac{1}{35}$ Zoll Durchmesser, einen Eisendraht von $\frac{1}{140}$ Zoll Durchmesser ausgespannt hätte und nun jedesmal eine gleiche Entladung seiner Batterie durchgehen liefs, bei der Anwendung des Eisendrahtes der feine daneben ausge-

1 Première Continuation etc. Haarlem 1787. p. 16.

2 Ebend. p. 166.

spannte Eisendraht grofsentheils, bei Anwendung des Messingdrahtes nur zu einem kleinen Theile, bei Anwendung des Kupferdrahtes gar nicht beschädigt wurde. Diese so verschiedene Wirkung derselben Entladung glaubte van Marum aus keiner andern Ursache ableiten zu können, als dafs das elektrische Fluidum weniger Widerstand im Kupfer, als im Messing, und in diesem weniger als im Eisen findet und folglich das Kupfer von diesen dreien bei gleicher Dicke und Länge der beste, das Eisen der schlechteste Leiter sey, woraus dann noch weiter der allgemeine Schlufs gezogen werden könnte, dafs jene oben angegebene Ordnung der Schmelzbarkeit der Metalle durch die Elektricität zugleich auch die Ordnung ihrer Leitungsfähigkeit seyn würde, fortschreitend von dem schmelzbarsten, dem *Eisen*, als dem schlechtesten Leiter, zu dem unschmelzbarsten, dem *Kupfer*, als dem vollkommensten Leiter. Ritter[1] suchte in einer ausführlichen kritischen Beleuchtung der van Marum'schen Versuche und durch Vergleichung mit anderweitigen Erfahrungen gerade das entgegengesetzte Resultat in Ansehung der Ordnung der Metalle zu begründen. Er geht nämlich von dem Satze aus, dafs die Wärme, wovon das Schmelzen der Metalle abhängt, sich stets verhalten werde wie die Gröfse des elektrischen Processes, welcher nach ihm unmittelbare nächste Ursache ist, und also auch wie das, was ihn bedingt, das Mafs der Leitung. Es gehörte demnach weiter nichts dazu, als dafs sich die Schmelzbarkeiten der Metalle wie ihre elektrischen Leitungen verhielten, damit auch ihre wirklichen Schmelzungen durch Elektricität sich so verhielten. Dieses Verhältnifs findet aber nicht statt. Die Schmelzbarkeit der Metalle durch die Wärme befolgt eine andere Ordnung, als die durch die Elektricität. Der Grund hiervon kann nur in ihrer verschiedenen Leitung der Elektricität liegen, die nicht gleichen Schritt hält mit ihrer Schmelzbarkeit, und es folgt daher nothwendig, dafs die Schmelzbarkeit des Metalls durch Elektricität das *Product* ist aus dem Grade seiner Leitung und dem Grade seiner Schmelzbarkeit durch Wärme und dafs die Reihe dieser Schmelzbarkeiten, so wie die Reihe dieser Producte vollkommen parallel laufen. Das Mafs der Schmelzbarkeit durch Wärme ist die Entfernung des wirklichen Wärmegrades, bei welchem das Metall schmilzt, von

---

1 Elektrisches System der Körper. S. 170.

einem und demselben Puncte der Thermometerscale, z. B. von dem 0 Puncte, multiplicirt mit der Wärmecapacität des Metalls. Dieses Product giebt nämlich die absolute Menge von Wärme an, die ein Metall zu seinem Schmelzen erfordert. Diese absoluten Mengen von Wärme, als das Maſs der Schmelzbarkeit, gelten aber nur von gleichen Massen oder Gewichten.

Ritter theilt demnach eine von ihm berechnete Tabelle mit, welche die Menge der absoluten Wärme für gleiche Volumina der geschmolzenen Metalldrähte darstellt als Producte der Entfernungen ihrer Schmelzpuncte vom 0 Puncte, ihrer Wärmecapacitäten und ihrer specifischen Gewichte. Die Schmelzbarkeiten selbst werden sich demnach gerade verhalten, wie die von gleichen absoluten Mengen von Wärme wirklich geschmolzenen Volumina, die durch diese Tabelle unmittelbar gegeben sind. Wäre nun die Leitung der Metalle für Elektricität gleich und eben damit auch die Menge der erzeugten Wärme, so würden die Längen der durch gleiche elektrische Entladungen geschmolzenen Drähte von gleichem Durchmesser in folgendem Verhältnisse gegen einander gestanden haben:

Zinn	Blei	Messing	Silber	Kupfer	Gold	Eisen
120	113,6	6,687	5,752	5,288	4,705	1,347.

Was *mehr* oder *weniger* geschmolzen wurde, als nach der bloſsen Wärmeschmelzbarkeit, ist als Folge besserer oder geringerer Leitung zu betrachten.

Es schmolzen aber von Messing 26, von Silber 46, von Kupfer 38, von Gold 0,223 *weniger*, von Blei 0,056 und von Eisen 2,707 *mehr*, als, die Länge des geschmolzenen Zinns zum Maſsstabe angenommen, bei gleich guter Leitung durch alle Metalle nach der bloſsen Wärmeschmelzbarkeit hätte geschmolzen werden sollen. Jene Metalle, von welchen weniger geschmolzen wurde, waren demnach *schlechtere*, die, von welchen mehr geschmolzen wurde, *bessere* Leiter der Elektricität. Demnach würde sich folgende Ordnung der Metalle in Ansehung ihrer Leitungsfähigkeit, von dem vollkommensten Leiter anhebend, ergeben:

Eisen, Blei, Zinn, Gold, Messing, Silber, Kupfer.

Nimmt man aber zugleich auf die verschiedene Länge der Metalle Rücksicht, aus welcher jene Ordnung abgeleitet ist und welche, da sie beim Blei und Zinn so viel gröſser war, ihrer Leitung wieder nachtheilig werden muſste, so ergiebt sich die

wahre Ordnung der Metalle in Rücksicht auf ihre Leitungsfähigkeit als folgende:

Blei, *Zinn*, *Eisen*, *Kupfer*, (*Messing*, *Silber*, *Gold*).
Aus ähnlichen Versuchen über Wärmeerzeugung und Schmelzung des Platins folgert Ritter ferner, daſs dasselbe allen übrigen Metallen an Leitungsfähigkeit nachstehe.

Ritter übersah die Schwierigkeit nicht, welche sich aus den Versuchen van Marum's entgegenstellte. In denselben wurde die Batterie jedesmal gleich vollkommen entladen, sämmtliche Drähte leiteten also dieselbe absolute Menge von Elektricität. Die verschiedene Leitung kann also nicht auf die absolute Menge, sondern auf die gröſsere oder geringere Geschwindigkeit, mit welcher dieselbe absolute Menge von Elektricität geleitet wird, bezogen werden, woraus sich dann der veränderte Ausdruck ergiebt, daſs die Schmelzbarkeiten der Metalle durch Elektricität sich verhalten wie die Producte aus dem Grade der Geschwindigkeit, mit welcher die Metalle leiten, und den Schmelzbarkeiten der Metalle durch die Wärme. Ritter zieht hieraus ferner das Resultat, daſs eine und dieselbe Menge von Elektricität der Intensität und Extensität nach um so mehr Wärme hervorbringe, je schneller, und um so weniger, je langsamer sie geleitet werde, oder daſs die durch einerlei Menge von Elektricität erzeugten Wärmen sich umgekehrt wie die Entladungszeiten verhalten, welche ungeachtet des scheinbar instantan erfolgenden Batteriefunkens doch sehr verschieden seyn können und seyn müssen. Hieraus folgt ferner noch, daſs eine und dieselbe Menge von Elektricität um so mehr Wärme hervorbringen müsse, je höher die Spannung ist, aus der sie in das 0 übergeht, und die Uebereinstimmung dieses Schlusses mit der Erfahrung und folglich auch die Richtigkeit der Prämissen, aus welchen er abgeleitet ist, findet Ritter in Cuthbertson's Versuchen über Schmelzung verschiedener Längen von Metalldrähten, welcher nämlich gefunden hatte, daſs dieselbe Menge von Elektricität in dem Verhältnisse eine gröſsere Länge schmolz, in welchem durch Anhäufung auf einer kleineren Oberfläche ihre Spannung höher war.

Ritter findet in jener Ordnung der Metalle zugleich einen merkwürdigen Zusammenhang mit ihrer Oxydabilität und stellt das allgemeine Gesetz auf, daſs das *Leitungsvermögen der Metalle in geradem Verhältnisse mit ihrer Oxydabilität stehe.*

Er nimmt noch andere Erfahrungen zu Hülfe, welche für das gröfsere Leitungsvermögen der mehr oxydabeln Metalle sprechen sollen und nach denen besonders das *Zink*, das an Oxydabilität jene oben genannten Metalle noch übertrifft, sich als der *vorzüglichste Leiter* unter den Metallen verhalten soll. Diese Erscheinungen sind hauptsächlich aus der Sphäre des Galvanismus hergenommen und unter diesem Artikel zu finden, namentlich die Folgereihe, in welcher die Metalle durch Interpolation zwischen den feuchten Leiter die chemische Wirkung der Säule schwächen und ganz aufheben, die gleiche Stufenfolge, in welcher die Metalle in Form von Bogen die Flüssigkeit der *einfachen Kette* unterbrechen, die Wirkung derselben schwächen oder ganz aufheben, der grofse Vorzug in Beförderung der Gasentwickelung bei Anwendung der mehr oxydabeln Metalle, besonders des Zinks als Zuleiter in die Gasentbindungsröhren und die Nothwendigkeit, die negativen Metalle in einer viel gröfsern Berührungsfläche mit dem flüssigen Leiter anzuwenden, als die positiven Metalle, um das Maximum von Wirkung zu erhalten[1]. Was nun diese letzteren Beweise betrifft, wodurch sich gerade eine der auf anderen Wegen gefundenen *entgegengesetzte* Stufenfolge der Metalle in ihrem elektrischen Leitungsvermögen zu ergeben scheint, so sind die Erscheinungen, aus denen jene hergeleitet wurden, zu complicirt, um mit Sicherheit jenen Schlufs daraus ziehen zu können, da das electromotorische Verhalten der verschiedenen Metalle gegen die Flüssigkeiten hierbei wesentlich mitwirkt und überhaupt ganz eigenthümliche Gesetze der Leitung da zu herrschen scheinen, wo Flüssigkeiten und Metalle mit einander abwechseln und die chemische Wechselwirkung mit in Betracht kommt, weswegen sie nicht mit den Gesetzen der Leitung durch die Metalle an und für sich verwechselt werden dürfen. Was aber die Deutung betrifft, welche Ritter den van Marum'schen Versuchen giebt und durch welche allerdings die Leitungsfähigkeit der Metalle an und für sich durch ihre Masse hindurch bestimmt wird, so läfst sich auch gegen diese Manches einwenden. Da die gröfste Quantität von Elektricität, wenn sie durch Leiter von hinlänglich grofser Ausdehnung fortgepflanzt wird, auch nicht die kleinste Spur von Wärmeerzeugung giebt, so geht schon hieraus hervor, dafs

1 Dieses Wörterb. Th. IV. Abth. 2. S. 916, 667, 891 u. 1005.

die Menge der erzeugten Wärme auf keinen Fall eine unmittelbare Folge der Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten ist und auch nicht, wie Ritter will, im geraden Verhältnisse der absoluten Menge dieser Elektricitäten und dem umgekehrten der Dauer der Zeit, in welcher diese Ausgleichung geschieht, oder dem geraden der Geschwindigkeit der Fortleitung steht. Vielmehr deuten die meisten Erscheinungen darauf hin, daſs es der Widerstand oder die relative Isolation, welche auch bei den vollkommensten Leitern noch existirt, vorzüglich seyn dürfte, was zur Wärmeerzeugung beiträgt. Und so würden jene Versuche gerade die von Ritter aufgestellte Ordnung der Metalle in einem entgegengesetzten Sinne betrachten lassen. Dieses war namentlich die Ansicht Childern's[1], als er den Grad der Erhitzung untersuchte, den Drähte von gleicher Dicke ($\frac{1}{30}''$) und gleicher Länge (8″) erlitten, als er den elektrischen Strom seiner mächtigen Batterie von 20 einfachen Zink- und 20 Doppelplatten von Kupfer, jede von 6′ Länge und 2′ 8″ Breite, durch sie hindurchgehen lieſs. Die Ordnung, in welcher sich die Metalle erhitzten, von dem am stärksten erglühenden anhebend, war: *Platin, Eisen, Kupfer, Gold, Zink, Silber,* und Childern erklärt diese Ordnung als die umgekehrte ihres Leitungsvermögens, weil die Elektricität um so mehr Wärme erzeuge, je mehr Widerstand sie in ihrem Durchgange erfahre.

Aus demselben Gesichtspuncte hat ganz neuerlich der Engländer Harris unmittelbar aus der Menge der Wärme, welche beim Durchgange der gleichen Entladungen einer Batterie durch Metalldrähte von gleicher Länge und Dicke erzeugt wird, die Ordnung der Metalle als Leiter zu bestimmen gesucht[2]. Die Menge der erzeugten Wärme selbst hat er durch einen einfachen Apparat, nämlich durch eine Art von Luftthermometer, mit Genauigkeit auszumitteln sich bemüht. Die Drähte wurden nämlich horizontal durch eine gläserne Kugel von 3″ im Durchmesser quer hindurchgeführt, welche mit einer doppelt gebogenen Röhre in Verbindung stand, in deren kürzeren, da, wo die Kugel aufgeschraubt war, etwas erweiterten Schenkel vorher eine gefärbte Flüssigkeit gegossen wurde, die in dem längeren Schenkel dann bis zu gleicher Höhe stieg, wo das 0 bemerkt wurde.

1 G. XXXVI. 364.

2 Phil. Trans. for 1827. p. 18. Poggend. Ann. XII. 2. 279.

Die angewandten Drähte hatten $\frac{1}{40}$ bis $\frac{1}{80}$ Zoll Dicke, doch wurden immer nur die von gleicher Dicke mit einander verglichen. Durch die beim Durchgange des Schlages erzeugte Erhitzung wurde die Luft in der Kugel ausgedehnt und die Flüssigkeit in dem langen Schenkel dadurch in die Höhe getrieben. Die Höhe, bis zu welcher diese Flüssigkeit stieg, zeigte den Grad der Ausdehnung und damit den Grad der Erhitzung des Metalldrahtes an. Die nachfolgende Tafel enthält sämmtliche auf diesem Wege erhaltene Resultate:

Metalle und ihre Legirungen	Ausdehnung der Luft
Kupfer	6
Silber	6
Kupfer 1 Silber 1	6
— 1 — 3	6
— 3 — 1	6
Gold	9
— 1 Kupfer 3	15
— 1 Silber 3	15
Zink	18
Messing	18
Kupfer 8 Zinn 1	18
Gold 1 Kupfer 1	20
— 1 Silber 1	20
— 3 Kupfer 1	25
— 3 Silber 1	21
Zinn 1 Zink 1	27
Platin	30
Eisen	30
Zinn 3 Zink 1	32
Zinn	36
Zinn 3 Blei 1	45
Zinn 1 Blei 1	54
Zinn 1 Blei 3	63
Blei	72

Diesen Versuchen zufolge würden demnach die Metalle nach ihrem Leitungsvermögen, sofern dasselbe als ihrer Erhitzung umgekehrt proportional angenommen wird, folgende Ordnung, von dem besten Leiter ausgehend, befolgen: (Kupfer, Silber,) Gold, (Zink, Messing,) (Platin, Eisen,) Zinn, Blei,

und sofern man die Verhältnisse der Leitungsvermögen nach den Verhältnissen der Zahlen, welche die Erhitzung messen, bestimmen wollte, würde das Leitungsvermögen des Goldes zu dem des Silbers oder Kupfers wie 2:3, das des Zinks oder Messings zu dem des Silbers oder Kupfers wie 1:2, das des Platins oder Eisens zu eben denselben wie 1:5, des Zinnes wie 1:6, endlich des Bleies wie 1:12 sich verhalten.

Es ist hierbei merkwürdig, dafs eine sehr kleine Beimischung eines andern Metalles einen sehr grofsen Einflufs auf das Leitungsvermögen äufsert, worin eine grofse Uebereinstimmung mit dem grofsen Einflusse kleiner Beimischungen auf das galvanische Verhalten liegt[1]. Die Form, in welcher dieselbe Masse von Metall angewandt wurde, schien keinen Einflufs auf das Leitungsvermögen desselben, nach dem Grade der Erhitzung gemessen, zu haben. Ob der metallische Draht cylindrisch oder zu einem Bande ausgestreckt oder in vier kleinere Drähte getrennt war, immer war die Erhitzung dieselbe, ein Resultat, welches mit dem bereits aus Becquerel's und Davy's Versuchen abgeleiteten übereinstimmt.

Es ist auffallend, wie sehr die von Harris gefundene Ordnung der Erhitzung von derjenigen abweicht, welche Davy beobachtete, da er gleich lange und gleich dicke Drähte von verschiedenen Metallen in den Schliefsungsbogen einer mächtigen Volta'schen Säule brachte, welche so angeordnet war, dafs sie als zwei Metallflächen (als eine einzige Zinkfläche und doppelt so grofse Kupferfläche) wirkte[2]. Am stärksten erhitzt wurde das Eisen, dann Palladium, Platin, Zinn, Zink, Gold, Blei, Kupfer, Silber, das unter allen am wenigsten erhitzt wurde. Die auffallendste Abweichung betrifft die Stelle des Bleies, Zinns und Zinks. Davy hat nicht näher angegeben, auf welche Weise er mit Genauigkeit die relative Erhitzung gemessen habe. Wie es scheint, war für ihn die Temperatur, bis zu welcher eine nicht leitende Flüssigkeit, worunter sich die Drähte befanden, erhitzt wurde, das Mafs derselben. Bei der Vergleichung dieser Ordnung der Erhitzung mit der Ordnung des auf eine mehr unmittelbare Weise gefundenen Leitungsvermögens der Metalle gelangte dann auch Davy zu dem Resultate, dafs diese Ordnungen

---

1 Vergl. Bd. IV. Abth. 2. S. 606.

2 G. LXXI. 259.

die entgegengesetzten seyen und die Erhitzung um so mehr zunehme, je gröſseren Widerstand die Metalle leisten. Davy bemerkt noch Folgendes. Daſs die Beziehungen auf die Wärme (die Grade der Erhitzung) dieselben seyen, welche Intensität auch die Elektricität besitze, habe sich ihm dadurch bewiesen, daſs, als er Entladungen Leidner Batterieen durch Drähte, welche sich unter Wasser befanden, hindurchgehen lieſs, diese sich in derselben Folge erhitzten, als durch Volta'sche Batterieen, indem dabei Eisen eher schmolz als Platin, Platin eher als Gold und so fort. Indessen stimmen andere Versuche Davy's mit der Behauptung, daſs die Intensität der Elektricität keine besondere Beziehung auf Wärmeerregung habe, nicht überein, aus denen sich nämlich das Resultat ergab, daſs die Elektricität mit desto geringerer Schwierigkeit durch schlechte Leiter hindurchgeht, je gröſser ihre Intensität ist, woraus nothwendig folgt, daſs, da die Wärmeerzeugung auf irgend eine Art eine Function des Widerstandes, welchen die Elektricität in ihrem Durchgange erfährt, und also auch, was auf eines hinausläuft, eine Function des jedesmaligen Grades der Leitung ist, diese Wärmeerzeugung von der Intensität der Elektricität, nach der sich die Leichtigkeit der Leitung, namentlich in den schlechtern Leitern, richtet, mit abhängig seyn muſs. Dieses wird auch durch folgende Erscheinung bestätigt. In einer Volta'schen Batterie von solcher Art, daſs die Menge der durch sie in Thätigkeit gesetzten Elektricität sehr groſs, die Intensität derselben aber sehr schwach ist (als nämlich Davy die Zink- und Kupferplatten so mit einander verband, daſs sie nur eine einzige Zinkplatte von 20 bis 30 Quadratfuſs Oberfläche und eine doppelt so groſse Kupferplatte bildeten und die Tröge mit Wasser gefüllt wurden, dem nur wenig Säure zugemischt war), verhielt sich *Kohle*, die mit den andern Theilen des Schlieſsungskreises nur in wenigen Puncten in Berührung stand, fast eben so sehr als ein isolirender Körper, wie Wasser, und kam nicht zum Glühen, und selbst Platindraht wurde in ihr nicht erhitzt, wenn der Durchmesser desselben kleiner als $\frac{1}{30}''$ und die Länge 3 oder 4 Fuſs war. Eine solche Batterie machte einen 1 Fuſs langen und $\frac{1}{30}''$ dicken Platindraht kaum heiſs, indeſs sie einen eben so langen und dicken Silberdraht zum Rothglühen brachte und eine gleiche Länge von *dickerem* Platin- oder Eisendraht sehr heiſs machte. Diese Versuche beweisen auf das augenscheinlichste, wie unsicher es

ist, aus dem Grade der Wärmeerzeugung irgend einen Schluſs auf den Grad des elektrischen Leitungsvermögens zu machen [1], und wir wenden uns daher zu den genaueren und auf eine mehr directe Weise das Leitungsvermögen bestimmenden Methoden Davy's und Becquerel's, von denen schon oben ausführlich die Rede gewesen ist. Da nämlich durch die oben mitgetheilten Versuche ausgemacht ist, daſs das Leitungsvermögen der Metalle bei gleichem Durchschnitte im umgekehrten Verhältnisse ihrer Länge und bei gleicher Länge im geraden Verhältnisse ihres Durchschnittes oder genauer ihrer Masse steht, so geben bei gleicher Leitung, für welche Davy die jedesmalige vollständige Entladung irgend einer Volta'schen Batterie als Kennzeichen brauchte, so daſs in der zugleich damit durch feine Silberdrähte verbundenen Gasentbindungsröhre keine weitere Spur von Gasentwickelung statt fand, die verschiedenen Längen gleich dicker Drähte der verschiedenen Metalle, bei welchen diese vollständige Entladung statt fand, unmittelbar das Verhältniſs ihrer Leitungsvermögen. Auf diese Weise mittelte dann Davy aus, daſs beim Entladen der Elektricität von 60 Plattenpaaren gleich wirkten: 1 Zoll Platindraht, 6 Zoll Silberdraht, $5\frac{1}{2}$ Zoll Kupferdraht, 4 Zoll Golddraht, 3,8 Bleidraht, 0,9 Zoll Palladiumdraht, 0,8 Zoll Eisendraht, als alle diese Drähte eine gleiche Dicke hatten und sich in einer sie kalt erhaltenden Flüssigkeit befanden. Ein anderes Maſs war bei gleicher Länge und Dicke der Drähte die Zahl der Plattenpaare der Volta'schen Batterie, die vollständig entladen wurden. So fand Davy unter der Vorsicht, daſs die Drähte so kalt als möglich durch Untertauchung in ein Becken mit Wasser erhalten

1 Ohm hat in einer scharfsinnigen Erörterung (Kastner's Archiv. XVI. 1. S. 1) die Gesetze, nach welchen sich das Erglühen von Metalldrähten durch die galvanische Kette richtet, theoretisch herzuleiten gesucht und selbst genaue Formeln für diese Gesetze geliefert. Durch diese Erörterung ist aber kein Resultat für Bestimmung des verschiedenen Leitungsvermögens verschiedener Metalle unmittelbar gewonnen und wir halten daher den Artikel: *Säule, Volta'sche,* für den mehr geeigneten Ort, unsere Leser mit jener schätzbaren Arbeit bekannt zu machen, durch welche die Gesetze für das Erglühen von Metalldrähten, wie sie von uns bereits nach den vorhandenen Versuchen (dieses Wörterbuch Bd. IV. Abtheil. 2. S. 921.) *vollständig* aufgestellt worden sind, aus einem allgemeinen Principe abgeleitet werden.

wurden, die ganze Elektricität von folgender Anzahl von Plattenpaaren (Zink mit doppeltem Kupfer), indem die Flüssigkeit der Tröge aus 15 Theilen Wasser und einem Theile Salpetersäure bestand, bei einer Länge der Drähte von 6 Zoll und einem Durchmesser von $\frac{1}{221}$ Zoll entladen: durch Silberdraht von 65 Paaren, Kupferdraht 56, Zinkdrath 12, Platindrath 11, Eisen 6, durch Bleidrath von $\frac{1}{220}$ Zoll Durchmesser gleichfalls von 56 Paaren, wie es schien.

Indeſs bemerkt DAVY, daſs bei mehrmaliger Wiederholung dieser Art von Versuchen die Resultate nie ganz dieselben waren, wiewohl sie manchmal einander sehr nahe kamen, indem namentlich bei starker Ladung der Batterie und also bei hoher Intensität der Elektricität die besten und die schlechtesten Leiter sich wenig verschieden zeigten, wogegen bei schwachen Ladungen ihre Verschiedenheit gröſser ausfiel. Legen wir die erste Reihe von Versuchen zum Grunde und nehmen wir das Leitungsvermögen des Eisens als des schlechtesten Leiters zur Einheit an, so werden die Leitungsvermögen der verschiedenen Metalle durch folgende Zahlen repräsentirt:

Silber 7,5, *Kupfer* 6,7, *Gold* 5, *Blei* 4,6, *Platin* 1,2, *Palladium* 1,1, *Eisen* 1.

Etwas abweichend hiervon ist die Stufenfolge, welche BECQUEREL durch die Anwendung des bereits oben erwähnten Verfahrens erhielt, indem er nämlich die Schälchen a, b und c, d (Fig. 26.) durch Drähte von verschiedenen Metallen von gleicher Dicke mit einander verband und ausmittelte, in welchem Verhältnisse ihre Längen gegen einander stehen muſsten, damit die Nadel nicht abwich oder damit sie beiderseits gleich viel Elektricität leiteten. Diese Längen selbst waren dann das Maſs ihres Leitungsvermögens, da der längere Draht in dem Verhältnisse, in welchem er durch seine gröſsere Länge an Leitungsvermögen verlor, diesen Verlust durch die auf seiner specifischen Beschaffenheit beruhende Stärke seines Leitungsvermögens wieder compensirt haben muſste. So fand dann BECQUEREL folgende Zahlenwerthe für das Leitungsvermögen der Metalle:

Kupfer 100, Gold 93,60, Silber 73,60, Zink 28,50, Zinn 25,50, Platin 16,40, Eisen 15,80, Blei 8,30, Quecksilber 3,40, Kalium 1,33.

Kalium und Quecksilber waren in calibrirten Röhren angewandt, deren Durchmesser mit Genauigkeit bestimmt wurde. Wie nahe

die nach der Methode von HARRIS gefundenen Gröſsen des Leitungsvermögens mit den Werthen von BECQUEREL übereinstimmen, ergiebt sich aus nachfolgender Tabelle, worin das Leitungsvermögen des Kupfers gleichfalls durch 100 ausgedrückt und die übrigen Zahlen nach dem Verhältnisse des Grades der Erhitzung bestimmt sind:

Kupfer 100, Gold 66,6, Silber 100, Zink 33,3, Zinn 16,6, Platin 20, Eisen 20, Blei 8,3.

OHM[1] fand für Drähte verschiedener Metalle von gleichem Durchmesser folgende Längen gleichen Leitungswerthen entsprechend, indem er nämlich die verschiedenen Drähte als Schlieſsungsdrähte unter möglichst gleichen Umständen in die galvanische Kette brachte und sie so lange verkürzte oder verlängerte, bis eine gleiche Ablenkung der Magnetnadel bewirkt wurde:

Kupfer 1000, Gold 574, Silber 356, Zink 333, Messing 280, Eisen 174, Platin 171, Zinn 168, Blei 97.

Man sieht, daſs diese Reihe und ihre Werthe auf eine höchst auffallende Weise mit derjenigen von BECQUEREL übereinstimmen, doch schenkt OHM selbst seinen Versuchen kein volles Vertrauen, weil er bei Wiederholung derselben einen andern Silberdraht, der übrigens auch aus dem reinsten Silber bestand, als einen bessern Leiter wie Kupfer und Gold fand. Der bei der ersten Reihe von Versuchen gebrauchte Silberdraht zeigte bei genauerer Untersuchung eine Oelhaut auf der Oberfläche, die er beim Ziehen angenommen hatte, während der später gebrauchte frisch gereinigt war. POUILLET bediente sich eines einfachen Electromotors von sehr groſser Oberfläche und fand bei gleichem Leitungsvermögen folgende Längen verschiedener Drähte von gleichem Durchmesser:

Silber (mit 0,014 Kupfer) 860, Kupfer 738, Silber (mit 0,052 Kupfer) 656, Gold (feines) 623, Silber (mit 0,2 Kupfer) 569, Garkupfer 224, Messing 194, Eisen 121, Gold (18karatiges) 109, Platin 100.

Diese Versuche zeigen deutlich, was sich auch schon aus den Versuchen von HARRIS ergeben, wie kleine Beimischungen die Stelle eines Metalls eben so in der Reihe als Leiter, wie in der Reihe als Erreger der Elektricität verrücken.

---

1 Schweigg. Journ. N. R. XVI. 141.

Das elektrische Leitungsvermögen der Metalle scheint in der nächsten Beziehung mit ihrem Leitungsvermögen für Wärme zu stehen, dergestalt, dafs beide Eigenschaften einigermafsen gleichen Schritt halten. Für Kupfer, Silber, Platin und Palladium fand Wollaston dasselbe in dem Verhältnisse 3,5; 2,5 und 1, und nach Desprets ist sie, wenn man die wärmeleitende Eigenschaft der Ziegelsteine = 1 setzt, bei Blei 16, Zinn 30, Zink 31, Eisen 32 und Kupfer 77, so dafs wenigstens beide Reihen in den Extremen vollkommen mit einander übereinstimmen. Mit andern Eigenschaften, wie z. B. der Cohäsion (Härte), Dichtigkeit, Oxydabilität, scheint dagegen das elektrische Leitungsvermögen der Metalle in keinem Verhältnisse zu stehen, für welches sich bis jetzt ein Gesetz aufstellen liefse.

b) *Erze*. Nächst den Metallen sind die besten Leiter der Elektricität die Erze, welche auch in ihren physischen Eigenschaften den Metallen am nächsten kommen, also insbesondere die metallischen Sulfiden, welche unter dem Namen der *Kiese* und *Glanze* bekannt sind, aber auch einige Arten der sogenannten *Blenden* und mehrere Metalloxyde, die trotz ihres Sauerstoffes noch in ihren physischen Eigenschaften den reinen Metallen nahe stehen. Schon Priestley[1] hat hierüber mehrere Versuche angestellt und bemerkte besonders, dafs diejenigen Erze, in welchen das Metall durch Arsenik und Schwefel vererzt ist, gut leiten, namentlich auch der natürliche sowohl als der künstlich bereitete Zinnober, welcher jedoch beim Durchgange des Schlags einer Batterie in viele Stücke zertrümmert wurde.

Pelletier, dem wir die neuesten Versuche über diesen Gegenstand verdanken[2], bemerkt, dafs man keine ganz allgemeine Regel, die von der Oxydations- oder Schwefelungsstufe der Metalle oder von den physischen Eigenschaften der Erze hergenommen sey, für ihre Leitungsfähigkeit aufstellen könne. So fand er z. B., dafs Schwefelsilber die Elektricität gar nicht leite (ob er darunter eine besondere Varietät des Glaserzes, etwa das spröde, gemeint habe, ist nicht näher angegeben) und Schwefelquecksilber nur sehr wenig, indefs Schwefelblei und Schwefelzink, selbst die durchsichtigen krystallisirten Blenden, vortreffliche Leiter sind. Nicht minder sonderbare Anomalieen

1 Gesch. der Elektricität. S. 407.

2 G. XLVI. 198.

fanden sich unter den Metalloxyden. Das Hyperoxyd des Mangans ist ein vortrefflicher Leiter, das rothe Bleioxyd oder die natürliche Mennige leitet kaum, sehr gut dagegen die Bleierde, welche auch ein Oxyd ist, so daſs dieser Charakter hinreicht, sie von dem natürlichen kohlensauren Blei zu unterscheiden, welches kein Leiter ist. Da bei der Prüfung solcher natürlichen Körper auf ihr Leitungsvermögen der Zustand der Luft, die Figur der Stücke und besonders die Spitzen an krystallisirten Körpern Einfluſs haben, so läſst sich nicht mit strenger Genauigkeit eine Stufenfolge derselben in Rücksicht auf ihr Leitungsvermögen aufstellen. Das relative Leitungsvermögen bestimmte Pelletier durch die Art der Entladung einer Leidner Flasche und nennt schwache Leiter diejenigen, mit denen sich die Leidner Flasche nicht augenblicklich entladen läſst, sondern die Entladung einige Augenblicke dauert, und welche die Schläge nur dann durch sich durchlassen, wenn die Flasche stark geladen ist. Von den

Schwefel- und Arsenikverbindungen leiten

Schwefelblei vortrefflich.
Schwefeleisen (Schwefelkies) sehr gut.
Schwefelkupfer (Kupferkies) sehr stark.
Glanz und Speiskobalt sehr gut.
Arsenikkies sehr gut.
Silberglaserz (schwarzes Schwefelsilber) sehr gut.
Kupfernickel sehr gut.
Pechblende (Schwefeluran) stark.
Rothgildigerz (selbst durchsichtiges) gut.
Schwefelquecksilber mittelmäſsig.
Grauspieſsglanzerz (Schwefelspieſsglanz) wenig.
Rothspieſsglanzerz wenig.
Schwefelmolybdän wenig.
Schwefelarsenik ist ein vollkommner Isolator.

Metalloxyde.

Graubraunsteinerz sehr gut.
Zinnoxyd, selbst die durchsichtigsten Zinngraupen, sehr stark.
Eisenglanz und oxydirtes Eisen sehr gut.
Weiſses Bleioxyd (natürliche Bleierde) gut.
Natürliche Mennige sehr schwach.

Kupferoxyd sehr schwach.
Schwarzer Erdkobalt sehr wenig.
Oxydirtes Uran sehr wenig.
Weifser Arsenik, Nichtleiter.
Titaneisen schwach.
Titanit (titansaurer Kieselkalk) äufserst wenig.
Wolfram (wolframsaures Eisen) schwach.
Tungstein (wolframsaurer Kalk) gar nicht.
Cerit sehr wenig.

Dürfte man nach der Analogie, dafs unter den eigentlichen Metallen die in der Reihe der galvanischen Erreger dem positiven Ende näher stehenden die schlechtern, die dem negativen Ende näher stehenden die besseren Leiter sind, schliefsen, so würde man alle in dieser Tabelle aufgeführten Körper, die hinsichtlich ihres Leitungsvermögens sich überhaupt wie Metalle verhalten, sogar als die besten Leiter anzusehn haben, da sie in der galvanischen Spannungsreihe dem negativen Ende am nächsten liegen.

c) *Kohle.* Zunächst an die Metalle und ihre Erze schliefsen sich die Kohle und die *kohlenhaltigen* Körper an. Priestley[1] hat zuerst durch viele Versuche ausgemittelt, dafs die Holzkohle sich als ein vollkommen so guter Leiter wie die Metalle verhalte, doch fand er unter verschiedenen Stücken bedeutende Verschiedenheiten. Selbst einzelne Stücke Steinkohle fand Priestley bei der Entladung geladener Flaschen vollkommen wie die Metalle sich verhaltend; doch läfst sich aus dem Zusammenhange schliefsen, dafs er die Steinkohlen im verkohlten Zustande (Coaks) versteht, wenn er die Steinkohle einen unvollkommenen Leiter nennt. Priestley giebt bei dieser Gelegenheit als Mafs des Leitungsvermögens die Gröfse des Rückstandes in der entladenen Flasche an, den man durch ein Lane'sches Elektrometer genau messen könne, nachdem die Flasche durch die verschiedenen Körper, die sich unter ganz gleichen Umständen im Erschütterungskreise befinden, entladen worden ist. Rufs fand Priestley nur als einen unvollkommenen Leiter und Spiegelrufs von Holz sogar als einen Isolator. Davy[2] bestimmte noch genauer das relative Leitungsvermögen der Holz-

1 Geschichte der Elektricität. S. 398.
2 G. LXXI. 255.

kohle. Von gut verkohltem dichtem Buchsbaumholze wurde ein Kohlenstück, das bei $\frac{3}{10}$ Zoll Breite $\frac{1}{10}$ Zoll Dicke hatte, zwischen grofsen Flächen Platin in den Schliefsungskreis gebracht und es fand sich, dafs, wenn das Stück Kohle 1,2 Zoll lang war, es dieselbe Menge von Elektricität entlud, als ein 6 Zoll langer Platindraht von $\frac{1}{720}$ Zoll Dicke. Hieraus und aus dem bereits oben angeführten Versuche, dafs bei sehr geringer Intensität der Elektricität die Holzkohle sich beinahe so isolirend wie Wasser verhält, sollte man allerdings schliefsen, dafs die Kohle den Metallen an Leitungsfähigkeit weit nachstehe. Der *Graphit* ist dagegen den Metallen ganz gleich zu setzen, was ohne Zweifel neben seinem Eisengehalte von seiner gröfseren Dichtigkeit abhängt, denn auch die gewöhnliche in einem heftigern Feuer gebrannte Holzkohle wird, indem sie dadurch an Dichtigkeit und Cohäsion gewinnt, ein viel besserer Leiter. Auch die *mineralische Holzkohle* und der *Anthracit* verhalten sich als sehr gute Leiter der Elektricität und namentlich fand Pelletier letzteren als einen vortrefflichen Leiter.

d) *Feuchte und flüssige Körper.* Alle übrige Leiter, die wir nun noch zu betrachten haben, zeigen ihr Leitungsvermögen nur in ihrer Verbindung mit Wasser und es ist höchst merkwürdig, dafs alle diese Substanzen, wie namentlich alle Salze, Säuren, Laugensalze, auch mehrere einfache Körper, wie Chlor, Iod, Brom, die in ihrem ganz trocknen Zustande *Nichtleiter* der Elektricität sind, durch ihre Verbindung mit Wasser Flüssigkeiten geben, die durchaus besser leiten, als das reine Wasser, Flüssigkeiten, deren Leitungsvermögen in eben dem Verhältnisse zunimmt, in welchem die relative Menge des Wassers, also des *Leiters,* geringer und diejenige des aufgelösten Körpers, also des *Nichtleiters*, gröfser ist.

Das *Wasser* selbst, dessen Leitungsfähigkeit hier zuerst in Betrachtung kommt, ist allerdings ein Leiter, aber steht in dieser Hinsicht ganz aufserordentlich den Metallen nach und verhält sich sogar unter mehreren Umständen beinahe als ein Isolator. Es ist bereits bemerkt worden, dafs schon Beccaria auf das relativ so geringe Leitungsvermögen des Wassers aufmerksam gemacht und dafs Cavendish sogar dieses Leitungsvermögen mehrere millionenmal geringer als das der Metalle geschätzt hat. Später hat Volta das höchst unvollkommene Leitungsvermögen des Wassers für Elektricität durch neue Ver-

suche bestätigt[1]. Diesen zufolge nimmt ein Strom elektrischer Flüssigkeit, welcher durch einen Metalldraht von der Feinheit eines Härchens mit Leichtigkeit durchgeht, im Wasser einen millionmal gröfseren Raum ein und geht selbst durch diesen nicht mit derselben Leichtigkeit und in derselben Menge hindurch. Führt man nämlich den Entladungsstrom einer Leidner Flasche, die, wenn sie grofs ist, nur schwach geladen zu seyn braucht, oder den Entladungsstrom einer sehr schwach geladenen Batterie oder einer Säule aus hundert Lagen Kupfer und Zink, deren Spannung ungefähr 1°,5 des Volta'schen Strohhalmelektrometers beträgt, mittelst zwei ziemlich breiter Metallstreifen, die einander gegenüber stehen, durch Wasser, das sich in einem grofsen Becken oder in einer hölzernen oder irdenen Kufe befindet, so breitet sich der Entladungsstrom im Wasser rechter und linker Hand von dem geraden Pfade aus, der unmittelbar von dem einen Streifen zum andern führt, so dafs, wenn man die eine Hand zur Seite desselben in einem Abstande von einigen Zollen von dem geradlinigen Strome in das Wasser taucht, man von dem Entladungsschlage getroffen wird und einen Schlag erhält.

Auf eine noch genauere Art zeigen diese, verglichen mit derjenigen der Metalle, aufserordentlich viel geringere Leitungsfähigkeit des Wassers und selbst der salzigen Flüssigkeiten die von Humphry Davy und mir mit dazu passenden Apparaten angestellten Versuche. Davy[2] befestigte in einem Gefäfse, welches bestimmt war, mit irgend einer Salzauflösung angefüllt zu werden, einander gegenüber zwei Platinbleche in einer Entfernung von 1 Zoll von einander. Jedes derselben war 6 Zoll lang und 1,5 Zoll breit und sie wurden mit den Polen einer Volta'schen Batterie in leitende Verbindung gesetzt. Zugleich verband Davy die beiden Pole der Batterie durch zwei feine Silberdrähte in einem Gaszersetzungsapparate und gofs dann von einer Salzauflösung in das Gefäfs so viel hinein, bis an dem negativen Silberdrahte kein Gas mehr erschien. In einigen solchen Versuchen mit der stärksten Auflösung von Kochsalz fand sich, dafs die ganze 6 Zoll lange Oberfläche nicht hinreichte, um die Elektricität von zwei Plattenpaaren vollständig durch die Auf-

1 G. XIV. 263.

2 G. LXXI. 255.

lösung zu leiten, dagegen entlud eine gleich lange Strecke d. h. 1 Zoll Platindraht von nur $\frac{1}{210}$ Zoll Durchmesser 60 Plattenpaare vollständig. Das Gas, welches in der Flüssigkeit an den Metallflächen entbunden wurde, machte es unmöglich, hierbei genaue Resultate zu erhalten, doch scheint sich aus diesen Versuchen so viel wenigstens zu ergeben, daſs das Leitungsvermögen der besten flüssigen Leiter mehrere hunderttausendmal schwächer ist, als das der schlechtesten Leiter unter den Metallen. Da in dem von Davy gebrauchten Apparate der Strom der Elektricität sich auch noch seitwärts verbreitet, was aus Volta's oben angeführtem Versuche erhellt, und folglich der Durchschnitt der Flüssigkeit, welche denselben leitet, dadurch unbestimmt wird, so schien mir ein zu ähnlichen Versuchen von mir ausgedachtes Gefäſs den Vorzug zu haben, wo nämlich die beiden Metallplatten, welche den elektrischen Strom der Flüssigkeit zuzuleiten bestimmt waren, die Seitenwandungen des Gefäſses selbst ausmachten, in welchem, weil die übrigen Wandungen von überfirniſstem Glase gemacht waren, der elektrische Strom gezwungen war, von der einen Wand zu der andern durch die Flüssigkeit sich zu bewegen, deren jedesmalige Säule (ein rechtwinkliges Parallelepipedum) durch die Entfernung dieser beiden Wandungen von einander und durch die Höhe, bis zu welcher jede Flüssigkeit in das Gefäſs gefüllt wurde, genau bestimmbar und mit jedem Metalldrahte von gegebener Länge und Durchmesser in Rücksicht auf Leitungsvermögen nach den oben aufgestellten Grundsätzen vergleichbar war. In diesem Gefäſse oder in dieser Zelle waren beide Metallwandungen auf der innern Seite im Feuer vergoldet, damit sie von keiner Flüssigkeit angegriffen werden konnten, und da die Wandungen einander gegenüberstanden, so wurde der Erfolg auf keine Weise durch die electromotorische Wirkung zwischen dem Golde und der jedesmal in die Zelle gefüllten Flüssigkeit afficirt, da die von beiden Seiten gleichen Wirkungen einander, was die Erregung eines elektrischen Stromes betrifft, entgegengesetzt waren und sich folglich aufheben muſsten. Bei diesem Apparate ist d die Zelle, a der einfache Electromotor, aus einem hölzernen ausgepichten Kasten bestehend, der jedesmal mit derselben Kochsalzauflösung gefüllt wurde, in welchen die beiden Metallplatten von Kupfer K und Zink Z, die durch einen Elfenbeinstreifen e oben mit einander verbunden waren, hinabgelassen wurden.

Fig. 27.

Durch eine passende, an diesem Streifen und dem Kasten angebrachte Vorrichtung h konnten diese Platten, beide gleichzeitig, zu jeder beliebigen Tiefe in die Flüssigkeit hinabgelassen werden. Von der Zinkplatte ging ein Draht nach der einen Wandung der Zelle, an welcher ein mit einer durchbohrten kleinen Metallkugel c versehener Messingstift angebracht war, durch welche der vom Zinke ausgehende Draht hindurchgesteckt und durch eine kleine Schraube in innige Verbindung gebracht wurde. Eine ähnliche Vorrichtung b fand sich an der andern Metallwand der Zelle, mit welcher das eine Ende eines Multiplicators m, der um eine Magnetnadel herumging, verbunden wurde, während das andere Ende des Multiplicators mit der Kupferplatte in genauer Verbindung stand. So kreiste dann der elektrische Strom vom Kupfer durch den Multiplicator, die Zelle nach dem Zinke und durch die Flüssigkeit im hölzernen Kasten nach dem Kupfer. *Streng genommen* bestand dieser Apparat eigentlich aus zwei einfachen Electromotoren, deren Wirkungen einander entgegengesetzt waren, nämlich einerseits aus einer Kette Gold, Messing, Multiplicatordraht, Kupfer, andererseits Gold, Messing, Multiplicatordraht, Zink. Zieht man aber die Wirkung des ersteren, welche die eines Gold-Kupfer-Electromotors ist, von derjenigen des zweiten, welche die eines Gold-Zink-Electromotors ist, ab, so bleibt gerade die Wirkung eines Electromotors aus Kupfer und Zink übrig.

Ich habe schon oben bemerkt, dafs ein Prisma von einer gesättigten Salmiakauflösung bei gleicher Länge einen 247416mal so grofsen Durchschnitt haben mufste, um dieselbe Leitung zu gewähren, wie ein Stahldraht, und dafs folglich in demselben Verhältnisse das Leitungsvermögen der ersteren schwächer sey. Der angegebene Apparat liefs sich dann sehr wohl benutzen, um das Leitungsvermögen verschiedener Flüssigkeiten mit einander zu vergleichen, das nämlich, wenn die gleiche Abweichung der Magnetnadel bei ihrer Anwendung als Zwischenleiter in der Zelle hervorgebracht wurde, im umgekehrten Verhältnisse der Höhe stand, bis zu welcher sie in die Zelle gegossen werden mufsten. Schon früher[1] habe ich die Resultate solcher Versuche mitgetheilt, welche jedoch nur eine kleine Anzahl von Flüssigkeiten umfafsten. Ich habe seitdem diese Versuche noch mehr ausge-

1 Der Elektromagnetismus. S. 83.

dehnt und dadurch nachfolgende Reihe der Flüssigkeiten [1] in Absicht auf ihr Leitungsvermögen erhalten, wobei die am unvollkommensten leitende den Anfang macht: destillirtes Wasser, essigsaures Blei, salzsaures Blei, schwefelsaures Kali, Salpeter, salzsaurer Kalk (Chlorcalcium), schwefelsaures Natron, schwefelsaure Talkerde, chlorsaures Kali, schwefelsaures Mangan, Brechweinstein, essigsaures Natron, Borax, weinsteinsaures Kali, benzoesaures Kali, salzsaures Mangan, kohlensaures Kali, essigsaures Kali, schwefelsaures Eisenoxydul, salpetersaures Blei, kleesaures Kali, Ammoniak von 956 spec. Gew., Weinsteinsäure, salzsaures Zinnoxydul, Alaun, Kupfervitriol, Zinkvitriol, verdünnte Phosphorsäure, starker Weinessig, englische Schwefelsäure mit 4 Theilen Wasser verdünnt, salpetersaures Quecksilberoxyd, concentrirte englische Schwefelsäure, salpetersaures Silber, Salmiak, verdünnte Salpetersäure, salzsaures Eisenoxyd, salzsaures Platin, Salzsäure von 1120 spec. Gewicht.

Die bereits oben [2] nach Marianini aufgestellte Tabelle weicht in wesentlichen Puncten von der meinigen ab. Indeſs konnte die von jenem Gelehrten angewandte Methode keine reinen Resultate geben, da in seinen Versuchen das verschiedene electromotorische Verhalten der verschiedenen Flüssigkeiten mit den Metallen, mit denen sie unmittelbar zur Kette geschlossen wurden, gleichfalls seinen Einfluſs äuſserte.

F. C. Förstemann [3] hat gleichfalls eine Reihe von Versuchen über das Leitungsvermögen verschiedener Flüssigkeiten für den elektrischen Strom der Volta'schen Säule angestellt. Er fand, daſs die ungleiche Stärke der Gasentwickelung in der Gasröhre durchaus keinen Maſsstab für das Leitungsvermögen derselben gebe, weil die elektrische Strömung nach Verschiedenheit der Flüssigkeiten in ganz verschiedene Processe ausschlage und also ungeachtet der stärkeren Durchleitung die Gasentwickelung doch viel geringer ausfallen könne, weil die Gase nicht als solche zum Vorschein kommen, sondern zu etwas anderem verwendet werden, wie z. B. in der concentrirten Schwefelsäure, wo die Entwickelung von Wasserstoffgas null ist, weil sich Schwefel

1 Sämmtliche Salzauflösungen waren bei mittlerer Temperatur gesättigt.

2 Dieses Wörterb. Th. IV. Abth. 2. S. 792.

3 Kastner's Archiv. IV. 82 fg.

niederschlägt, erst mit der Verdünnung derselben beginnt, mit der zunehmenden Verdünnung zunimmt, ein Maximum erreicht und dann wieder abnimmt; in der Bleizuckerauflösung, wo sie am Wasserstoffpole null ist, weil der Wasserstoff zur Reduction des Bleies verwendet wird, u. s. f., worüber das Nähere bereits unter dem Artikel *Galvanismus* mitgetheilt worden ist. Dagegen glaubte Förstemann dadurch ganz sichere Bestimmungen für das verschiedene Leitungsvermögen der Flüssigkeiten zu erhalten, dafs er den elektrischen Strom einer Volta'schen Säule durch eine Röhre gehen liefs, welche nach der Reihe mit den verschiedenen Flüssigkeiten bei gleichbleibendem Abstande der Platindrähte in derselben gefüllt wurde, und dann die Zeit mafs, welche verstrich, bis eine gleiche Menge Gas sich in der eigentlichen Gasentbindungsröhre, welche mit Wasser gefüllt war und welche sich gleichzeitig im galvanischen Kreise befand, entwickelt hatte, wobei er sich jenes Apparates von Bischoff bediente, den wir bereits unter dem Artikel *Galvanismus*[1] beschrieben haben. Dadurch erhielt Förstemann die folgende Tabelle, wobei das verschiedene Leitungsvermögen durch Zahlen dargestellt ist, welche aus der Dauer der Zeit, verglichen mit derjenigen, welche bei Anwendung von reinem Wasser verstrich und die als Einheit angenommen ist, berechnet sind, indem das Leitungsvermögen durch eine in dem Verhältnisse gröfsere Zahl ausgedrückt ist, in welchem diese Zeit selbst kleiner ausfiel:

	Specifisches Gewicht	Leiten in gleichen Zeiten folgende Mengen von Elektricität	Leiten eine gleiche Menge von Elektricität in folgenden Zeiten
Salzsäure	1,126	2,464	0,410
Essigsäure	1,024	2,398	0,523
Salpetersäure	1,236	2,283	0,438
Ammoniak	0,936	2,177	0,459
Salmiakauflösung	1,064	1,972	0,500
Schwefelsäure	1,848	1,737	0,575
Kalilauge	1,172	1,709	0,585
Kochsalzlösung	1,166	1,672	0,598
Bleizuckerauflösung	1,132	1,560	0,632
Destillirtes Wasser	1,000	1,000	1,000

1 Dieses Wörterb. Th. IV. Abth. 2. S. 884.

Dieser Tabelle zufolge würde der Unterschied des Leitungsvermögens der Flüssigkeiten von einander viel geringer ausfallen, als er aus andern Versuchen hervorgeht, indeſs läſst sich diese Anomalie leicht erklären. Förstemann fand nämlich, daſs, wenn er der mit der am besten leitenden Flüssigkeit (der Salzsäure) gefüllten Röhre, welche einen Theil des Leitungskreises ausmachte, einen Metallstreifen substituirte, die Gasentwickelung in der mit Wasser gefüllten Röhre die Gasentwickelung zwar etwas, aber doch nur wenig rascher wurde. Es würde bei der angewandten Art zu schlieſsen folgen, daſs selbst das Leitungsvermögen der Metalle nur sehr wenig das der besser leitenden Flüssigkeiten und selbst nicht dreimal dasjenige des destillirten Wassers übersteige, was doch mit ausgemachten Thatsachen im geradesten Widerspruche steht. Der Widerspruch fällt hinweg, sobald man nur erwägt, daſs keine hinlängliche Quantität von Elektricität für die Leitungscapacität der verschiedenen Leiter in solchen Versuchen vorhanden ist. Bei der groſsen Retardation nämlich, welche der elektrische Strom in einer Säule von 204 Plattenpaaren, die auſserdem an zwei Orten durch mit Flüssigkeit gefüllte Röhren unterbrochen war, erleidet, wird überhaupt nicht viel mehr Elektricität im Kreislaufe bewegt, als das Wasser in der einen Röhre schon für sich allein durchzuleiten vermag. Es ist also gleichsam nur der noch geringe Rückstand, welchen die besseren Leiter noch durch sich durchlassen, der das Maſs ihres bessern Leitungsvermögens abgiebt. Daher bemerkt auch Förstemann richtig, daſs bei Anwendung anderer Volta'schen Apparate zur Bestimmung des verschiedenen Leitungsvermögens zwar die Folgenreihe der Flüssigkeiten dieselbe bleiben werde, jene Zahlen aber wohl ganz abweichend ausfallen könnten.

Wie groſs der Unterschied des Leitungsvermögens der verschiedenen Flüssigkeiten von einander sey, kann man unter andern aus den Versuchen über die Entzündung durch den Funken einer Leidner Flasche, wenn man diesen durch eine Säule von Flüssigkeit gehen läſst, abnehmen. Die Retardation, welche die Elektricität in dieser Durchbewegung erfährt, scheint die Bedingung dieser Entzündung zu seyn, und zwar ein bestimmter Grad von Retardation, daher die Säule Wasser weder zu kurz, noch zu lang seyn darf, damit der Versuch gelinge. Hiernach kann man durch Anwendung des allgemeinen Gesetzes, daſs die

Retardation im Verhältnisse der Länge der Säulen jeder Art von Flüssigkeit bei gleichem Durchschnitte stehe, die Längen der Säulen von verschiedenen Flüssigkeiten bei gleichem Durchschnitte, welche die gleiche Retardation verursachen, d. h. eine solche, bei welcher die Pulverentzündung erfolgt, als das Maſs ihres Leitungsvermögens betrachten. So fand ich denn[1], daſs, wenn eine in einer Glasröhre von 6,5 Zoll Länge und 4 Linien Weite eingeschlossene Säule von destillirtem Wasser die Entladung einer durch 30 Umdrehungen meiner groſsen Elektrisirmaschine geladenen Flasche von 3,5 Quadratfuſs Belegung hinlänglich retardirte, um die Pulverentzündung zu bewirken, von einer Lösung von nicht mehr als $\frac{1}{600}$ Kochsalz im Wasser schon eine Säule von 68 Zollen und bei einem Gehalte von $\frac{1}{310}$ Kochsalz 115 Zolle erforderlich waren, woraus sich ein 11mal gröſseres Leitungsvermögen der ersteren und ein 18mal gröſseres Leitungsvermögen der zweiten Salzauflösung, als die des Wassers ist, ergiebt. Wurde auch nur $\frac{1}{600}$ Salmiak im Wasser aufgelöst, so war auch die Länge von 115 Zollen unzureichend, woraus ein mehr als 18mal gröſseres Leitungsvermögen jener letztern Flüssigkeit als des destillirten Wassers hervorgeht.

e) *Thierische und vegetabilische Körper.* Alle frische animalische Theile und besonders alle animalische Flüssigkeiten sind sehr gute Leiter der Elektricität, wie schon nach ihrem Gehalte an verschiedenen Salzen, insbesondere an Kochsalz, kohlensaurem Natron und phosphorsaurem Natron zu erwarten ist, und sie übertreffen sehr viel das Wasser.

Von den festweichen thierischen Theilen scheinen die *Nerven* alle übrige Theile an Leitungsvermögen zu übertreffen. Von Humboldt will selbst gefunden haben[2], daſs die *Knochen,* selbst gebleichte und wohlgetrocknete, sogar bessere Leiter der Elektricität als die Metalle seyen. Er gründete diese Behauptung auf die von ihm gemachte Erfahrung, daſs, wenn die Scheibe einer kleinen elektrischen Maschine so schwache Wirkungen thue, daſs eine isolirte Person keinen Funken giebt, wenn sie den Conductor mit einem Metallstabe berührt, diese Funken sogleich sichtbar werden, wenn man den Metallstab gegen einen Schenkelknochen austauscht. Auch will er stechendere Schläge

1 Schweigger's Journ. N. R. XVIII. 276.

2 Ueber die gereizte Muskel- und Nervenfaser. I. 434.

gefühlt haben, wenn er auf dem Isolatorium durch einen Knochen, als wenn er mittelst eines metallenen Leiters mit dem Conductor verbunden war. Dafs jedoch die Knochen den Metallen an Leitungsvermögen weit nachstehen, ergiebt sich aufser vielen anderweitigen schon aus der eigenen Erfahrung v Humboldt's, dafs die Knochen sich sogar als Isolatoren des mit so schwacher Spannung begabten Stromes der einfachen galvanischen Kette verhielten. Erman hat dann später noch durch directe Versuche bewiesen [1], dafs die wohl ausgetrockneten Knochen sehr unvollkommene Leiter sowohl für die Maschinenelektricität, als auch die galvanische sind, wenn dieselben nur mit schwacher Spannung auftreten.

Bis zur Weifse calcinirte Knochen gehen ganz in die Classe der Isolatoren über und verhalten sich in dieser Hinsicht ganz wie natürlicher phosphorsaurer Kalk (Apatit). Auch verlieren andere thierische festweiche Theile durch das vollkommenste Austrocknen ihr Leitungsvermögen fast gänzlich.

Frische vegetabilische Theile aller Art, Wurzeln, Stengel, Blattstiele, Blätter, Blumen, so wie auch Rinde, Holz und Mark verhalten sich gleichfalls als sehr gute Leiter und übertreffen in dieser Hinsicht das Wasser, stehen aber den animalischen Theilen nach, wie auch schon aus den im Artikel *Blitz* angeführten Erfahrungen erhellt, welchen zufolge der Blitz von Bäumen, Gesträuchen u. s. w. jedesmal auf Menschen und Thiere, die nahe bei oder gar in Berührung mit ihnen sich befinden, überspringt. Alle wässerige vegetabilische Säfte leiten gleichfalls besser als das Wasser, während die harzigen und öligen isoliren. Dafs nach Verschiedenheit der Säfte ein grofser Unterschied in dem Leitungsvermögen verschiedener Bäume und Gesträuche statt finden möge, leidet wohl keinen Zweifel, und es ist eine bekannte Erfahrung, dafs der Blitz eher in Eichen als in Tannen und Buchen einschlägt, doch läfst sich hierüber nichts Genaues angeben. In vollkommen trockenem Zustande, wenn alle Feuchtigkeit verjagt ist, werden jedoch alle Theile der Vegetabilien mehr oder weniger Isolatoren. Namentlich gilt dieses vom Holze.

f) *Luftleerer Raum und Flamme.* Zu den Leitern der Elektricität gehören endlich noch der *luftleere Raum*, die *ver-*

---

1 G. XI. 156.

dünnte Luft und die *Flamme*. Ich habe bereits [1] die hierher gehörigen Erfahrungen angeführt. Hier verdienen noch Erman's [2] Bemerkungen nachgetragen zu werden. Dieser führt zum Beweise, dafs der wirkliche luftleere Raum ein *vollkommener Nichtleiter* sey, folgenden Versuch an, der bei dem Engländer Walsh in Gegenwart von Franklin, Smeaton, de Luc, Cavallo u. A. angestellt wurde [3]. Eine zweischenkelig gebogene Röhre von Barometercaliber, die so lang war, dafs jeder Schenkel 2 Fufs Länge über die Normalhöhe hatte, wurde sorgfältig mit Quecksilber angefüllt, die Mündung jedes Schenkels in ein Gefäfs mit Quecksilber getaucht und die Röhre aufrecht gestellt, so dafs zwei Barometer daraus entstanden, wovon jedes über sich einen Toricelli'schen Raum von mehreren Fufs Länge hatte. Durch diesen leeren Raum hingen die beiden Quecksilbersäulen zusammen. Isolirte man nun die beiden Gefäfse, worin sich die beiden Schenkel endigten, und theilte dem einen etwas Elektricität mit, so entstand eine leuchtende Erscheinung im leeren Raume in dem Augenblicke, als man das zweite Gefäfs berührte. Die elektrische Wirkung war folglich von einem Behälter zum andern durch die leitende Eigenschaft des leeren Raumes hindurchgeführt worden, auch gab das andere isolirte Gefäfs wirklich Funken bei der Berührung. Nun wurde aber der ganze grofse, mit Quecksilber angefüllte Heber genau ausgekocht und wie vorher aufgestellt und behandelt. Es fand sich hierauf, dafs in diesem vollkommen von Luft und Wasserdampfe gereinigten Raume nicht die mindeste leitende Kraft übrig war. Die dem einen Behälter mitgetheilte Elektricität ging nicht im mindesten zu dem entgegengesetzten über. Mehrere Tage lang stand die Vorrichtung und wurde täglich von vielen der dasigen Gelehrten geprüft und die isolirende Eigenschaft dieses vollkommen leeren Raumes hielt sich trefflich, bis zuletzt aus dem Quecksilber nach und nach einige zurückgebliebene oder zurückgetretene feuchte Luft sich allmälig nach dem Bogen der Röhre gezogen hatte, und von nun an zeigte der Toricelli'sche Raum eine zunehmende Leitungsfähigkeit. Diesem Versuche stehen indefs die späteren, wie es scheint, mit der gröfsten Sorgfalt angestellten Versuche

---

1 Dieses Wörterb. Bd. III. Abth. 1. S. 288.

2 G. XI. 143.

3 Phil. Trans. 1786. p. 273.

Davy's entgegen, und wenn es ausgemacht ist, daſs die Elektricität in ihrem Durchgange durch einen mit Luft erfüllten Raum, d. h. in ihrer Fortleitung, um so weniger Schwierigkeit findet, je mehr diese Luft verdünnt wird, so muſs es wenigstens sehr auffallend erscheinen, daſs dieses Fortschreiten in der Leichtigkeit der Fortleitung nicht bloſs aufhört, sondern sogar das entgegengesetzte Verhältniſs eintritt, wenn die Ursache, mit welcher jenes Fortschreiten gleichen Schritt hält, ihr Maximum erreicht hat. Erman führt einen Versuch an[1], den er selbst angestellt hat, welcher gleichfalls die isolirende Eigenschaft der vollkommenen Torricelli'schen Leere zu beweisen scheint. Eine Barometerröhre endigte oben in eine einen Zoll weite Kugel, in welche ein Platindraht eingeschmolzen war. Mit dem Quecksilber des isolirten gläsernen Gefäſses, in welches die Barometerröhre eingetaucht war, communicirte leitend ein empfindliches Elektrometer. Wurde das Barometer nur auf die gewöhnliche Weise, jedoch mit aller Sorgfalt, mit Quecksilber gefüllt, so zeigte das Elektrometer eine merkliche Divergenz, wenn der eine Pol einer isolirten Volta'schen Säule mit dem oberen Drahte in Verbindung stand und der andere Pol ableitend berührt wurde, wenn aber das Barometer sorgfältig ausgekocht und der möglichst leere Raum hervorgebracht war, so fand diese Fortleitung der Elektricität auf das Elektrometer nicht statt.

Die *Flamme* verhält sich als ein vorzüglich guter Leiter der Elektricität. Schon der Engländer Milas, welcher 1745 zuerst den elektrischen Feuerbüschel sah, bemerkte die Leitungsfähigkeit des Rauchs und der Flamme für Elektricität. Besonders stellte aber Priestley eine groſse Reihe von Versuchen über die Leitungsfähigkeit der Flamme an[2] und bewies, daſs diese nicht von der Schicht erwärmter und verdünnter Luft, womit dieselbe umgeben sey, abhänge, sondern in der Flamme an und für sich selbst liege. Eine geladene Flasche wurde schon in einer Entfernung von einigen Zollen von der Flamme eines Wachslichtes oder auch des Weingeistes in der Stille vollständig entladen, während bei viel gröſserer Annäherung einer glühenden Feuerschaufel sie nicht so geschwind entladen wurde, und als sie an ein Stück glühendes Glas ganz nahe gebracht wurde,

1 G. a. a. O. 164. 165.

2 Gesch. d. Elektr. S. 473.

ward sie nicht anders als durch eine Explosion entladen. Wie wenig überhaupt die bloſse erhitzte Luft wenigstens Elektricitäten von schwacher Spannung leite, bewies Erman durch einen Versuch, da er in einen Windofen, in welchem noch die stärkste Hitze von den zur Glut niedergebrannten Kohlen herrschte, aber aller Rauch und Flamme aufgehört hatten, eine Schaufel mit einem Elektrometer brachte, dessen Kügelchen mit positiver Elektricität divergirten, und 5 Minuten darin lieſs, ohne daſs die Divergenz sehr merklich verringert worden wäre[1]. Im Brennpuncte eines Hohlspiegels wurde nach Priestley eine Leidner Flasche nicht entladen. Volta und Bennet bedienten sich der Flamme eines Schwefelfadens mit Vortheil, um die atmosphärische Elektricität ihren Elektrometern schneller zuzuführen und dadurch sichtbar zu machen[2].

Alex. v. Humboldt glaubte in der früheren Periode des Galvanismus einen wesentlichen Unterschied zwischen dem elektrischen und dem sogenannten galvanischen Fluidum darin zu finden, daſs letzteres von der Flamme nicht geleitet werde. Wäre diese Erfahrung auch ganz genau, so würde dieser Schluſs dadurch noch nicht gerechtfertigt seyn, da der Grund dieser Nichtleitung auch schon in der höchst schwachen Spannung der einfachen Kette gelegen haben könnte. Spätere Versuche mit der Volta'schen Säule, welche namentlich Erman angestellt hat[3], haben jedoch bewiesen, daſs auch diese mit so schwacher Spannung begabte Elektricität von der Flamme geleitet werde. Indeſs zeigt die Flamme hierbei ein eigenthümliches höchst merkwürdiges Verhalten, auf welches Erman schon im Jahre 1802 aufmerksam wurde und das ihn, indem er seine interessanten Erfahrungen verfolgte, zu der Annahme eines fünffach verschiedenen Verhaltens der Leiter brachte, welches unter einem besondern Artikel näher in Betracht gezogen werden soll. Was die Flamme insbesondere betrifft, so boten sich ihm folgende Erscheinungen dar. Werden die Pole einer isolirten Volta'schen Säule mit Elektrometern verbunden, so verliert jedesmal dasje-

---

1 Abh. d. Berl. Acad. 1818 — 1819. S. 361.

2 Bennet in Phil. Trans. Vol. LXXVII. p. 11. Volta's meteorologische Briefe. S. 112.

3 G. XI. 149.

nige Elektrometer, welches von der Lichtflamme berührt wird, seine Divergenz und diejenige des andern steigt auf das Maximum; gerade so, als wenn jener Pol auf die gewöhnliche Weise ableitend berührt worden wäre. Dieses leistet schon die isolirte Lichtflamme, in einem viel vollkommneren Grade aber die mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzte. Reicht ein Elektrometer mit seinem Zuleitungsdrahte in eine Lichtflamme und in eben diese der eine Polardraht der Säule und man berührt den entgegengesetzten Pol dieser Säule, so nimmt die Divergenz dieses Elektrometers augenblicklich zu, gerade so als wenn es durch eine Wassersäule mit der Volta'schen Batterie verbunden wäre. Demungeachtet zeigt sich die Flamme in einer andern Rücksicht als ein Nichtleiter der Elektricität, sowohl der einfachen Kette, als auch der Säule. Als *Glied* in der von Pol zu Pol führenden Kette wird so wenig Wasserzersetzung in der Gasentbindungsröhre, die gleichfalls ein Glied des Volta'schen Kreises ausmacht, als Muskelcontraction in einem Froschpraeparate, das gleichfalls in den Kreis eingeht, hervorgerufen. Vermittelt die Flamme die Verbindung beider Polardrähte, die in sie hineinragen, so wird der elektrische Zustand beider Pole sehr ungleich modificirt. Es hört nämlich alle natürliche Divergenz an dem Elektrometer, mit welchem der + Pol zugleich verbunden ist, auf, während der — Pol eine Divergenz bekommt, die das natürliche Maximum sehr überschreitet und bisweilen eben so stark ist, als hätte man den + Pol ableitend berührt. Dieses findet statt, die Flamme mag isolirt seyn oder nicht, nur stellt sich das Phänomen viel schneller (fast augenblicklich), aber nicht ausgezeichneter ein, wenn die Flamme nicht isolirt ist. Hat der + Pol durch vorherige Berührung des — Pols einige Divergenz erhalten, so benimmt sie ihm die gemeinschaftliche Lage in der isolirten Flamme sehr bald und in einem Momente, wenn die Flamme in ableitender Berührung mit dem Boden ist. Hieraus folgt, dafs die Flamme ungleich mehr von + E als von — E zerstreut und an die umgebende Luft absetzt, womit dann eine Retardation des elektrischen Stromes in der Kette und Säule, der wesentlich von der wechselseitigen Ausgleichung beider Elektricitäten abhängt, verbunden ist, weswegen dann auch diejenigen Phänomene wegfallen, die vorzüglich von der Schnelligkeit des elektrischen Stromes abhängen; bei sehr starken Säulen erhält man jedoch, wie

Buntzen[1] bei einer Säule von 800 Plattenpaaren Zink-Kupfer von 1 Zoll 8 Linien Durchmesser fand, sehr starke Muskelcontractionen, wenn ein Froschpraeparat in den Kreis gebracht, der eine Polardraht mit der Flamme in Berührung gesetzt und an der andern Seite der Flamme mit dem andern Polardrahte geschlossen wird, wobei durch die grofse Intensität der Säule compensirt wird, was der Flamme an leitender Eigenschaft abgeht.

B. Nichtleiter oder Isolatoren.

Man rechnet zu dieser Classe alle diejenigen Körper, welche der Fortpflanzung der elektrischen Thätigkeit über ihre Oberfläche oder durch ihre Substanz einen viel gröfseren Widerstand entgegensetzen, als selbst der unvollkommenste Leiter unter allen, die wir im vorhergehenden Abschnitte betrachtet haben, nämlich das Wasser. Genauer kann man sie dadurch charakterisiren, dafs sie über eine nur einigermafsen beträchtliche Ausdehnung ihrer Oberfläche kein bemerkliches Quantum von Elektricität in einer so kurzen Zeit, als wir noch unterscheiden können, fortleiten, indem vielmehr jede merkliche Menge derselben, welche ihnen an irgend einer Stelle mitgetheilt wird, sich eher zerstreut, als dafs sie das entferntere Ende erreichte, vorausgesetzt, dafs ihre Ausdehnung nicht gar zu gering ist. Wir können die hierher gehörigen Körper unter gewisse Hauptclassen bringen:

1) *Gläser* aller Art, sowohl künstliche als auch natürliche, demnach alle vollkommene Edelsteine, Halbedelsteine, alle mit dem Glase an Härte, Durchsichtigkeit, Glanz und Mischung übereinkommende Mineralkörper (Silicate, Silico-Aluminate und Fluorate der verschiedensten Oxyde). Indem das Glas hier an die Spitze gestellt wird, soll damit nicht angedeutet werden, dafs es der vorzüglichste Nichtleiter, der vollkommenste Isolator sey, vielmehr steht es in dieser Hinsicht sehr vielen andern Körpern, namentlich allen Harzen ohne Ausnahme, allem Pelzwerk, der Seide und Seidenzeugen aller Art und selbst vielen Flüssigkeiten nach. Vieles hängt in Absicht auf das isolirende Verhalten von der eigenthümlichen Beschaffenheit des Glases ab und es giebt

---

1 G. XV. 352.

sogar Glassorten, welche ganz in die Classe der eigentlichen Leiter gehören, wie schon früher einige Physiker angegeben haben. So bemerkte HEMMER[1] von einer Glassorte, die er aus einer gewissen Glashütte bekam, daſs sie sehr gut geleitet habe. Auch CAVALLO führt an, daſs das Glas, besonders das härteste und am besten verglaste, oft ein sehr schlechter idioelektrischer Körper, bisweilen ein völliger Leiter sey. Im Allgemeinen scheinen diejenigen Gläser, in deren Zusammensetzung mehr eigentliche Metalloxyde eingehen, am besten zu isoliren, namentlich also die blauen, grünen, violettrothen, schwarzen. Gläser, zu deren Schmelzung mehr Laugensalz gebraucht worden ist, werden nach einiger Zeit leichter leitend, wenn sie auch anfangs, nachdem sie aus dem Glasofen gekommen waren, sich als vortreffliche Isolatoren bewiesen, ohne Zweifel durch Anziehung von Feuchtigkeit, welche überhaupt an jedes Glas sich leicht anhängt und es dadurch zum Leiter macht.

Eine höchst sonderbare Beobachtung über die leitende Eigenschaft des Glases rührt von einem unbekannten Liebhaber der Physik her[2]. Eine ihm eigenthümliche theoretische Ansicht veranlaſste ihn, eine zwei Fuſs lange Barometerröhre an beiden Enden in feine Spitzen auszuziehen, auf Kohlen, um alle Feuchtigkeit fortzutreiben, zu erhitzen und dann an den Enden zuschmelzen zu lassen. Als er vermittelst einer solchen Röhre eine Leidner Flasche durch Verbindung mit dem ersten Leiter der Maschine zu laden versuchte, erhielt er während der ersten fünf Minuten, welche die Maschine im Gange war, keine Spur von Ladung, dann aber zeigte sich an den beiden Spitzen der zugeschmolzenen Röhre elektrisches Licht, und zwar an der vordern (ohne Zweifel der dem Conductor zugekehrten) ein Lichtpunct, an der hintern ein schöner Strahlenbüschel; hierauf fing die Flasche an, sich zu laden, nach jedem Entladen stärker, und noch an demselben Tage lud sich durch eine solche Röhre eine Batterie so vollkommen, als wenn sie mit dem ersten Leiter der Maschine in Berührung gewesen wäre (?). Ein solcher Glasconductor hat dabei die Sonderbarkeit, daſs er von der Elektricität einen groſsen Theil selbst dann noch fortpflanzt, wenn man ihn unmittelbar in der Hand hält, und einer, an welchem

1 Journal de Physique. T. XVI. p. 51.

2 G. XXIV. 325.

die Spitze abgebrochen war, so dafs die atmosphärische Luft eindringen konnte, blieb dessenungeachtet ein eben so vortrefflicher Leiter. Selbst Glasröhren von 4 bis 6 Fufs Länge konnte jener Physiker auf die angezeigte Weise in treffliche Conductoren verwandeln. Je dünner von Glas solche Röhren sind, um so schneller werden sie auf die angegebene Weise zu Leitern; einige Röhren müssen mehrere Stunden lang und wiederholt der Einwirkung der Elektricität unterworfen bleiben, ehe sie Leiter werden. VAN MONS, der diese sonderbaren Glasconductoren selbst untersuchte, bemerkt, dafs sie nur einige Linien weit waren, dafs die Elektricität sie in einem freien Zustande als sichtbare Flüssigkeit durchströme. Dafs nicht die in den Röhren durch vorherige Erhitzung verdünnte Luft die Leitung vermittele, ergab sich daraus, dafs diese Röhren eben so gut leiteten, wenn sie an einem oder an beiden Enden offen waren.

Dafs auch Elektricität von sehr schwacher Spannung, wie die der Volta'schen Säule, durch solide Glasröhren von einer Länge von einigen Schuhen fortgeleitet und einem Elektrometer eben so gut wie durch den menschlichen Körper oder durch Metalle zugeführt werden könne, hat G. BISCHOF durch mehrere Versuche mit der Volta'schen Säule bewiesen [1], welcher bei dieser Gelegenheit auch die Erfahrungen anderer Physiker über die Fähigkeit des Glases, die Pole der Volta'schen Säule abzuleiten, zusammengestellt hat. Hierbei mufs man indefs nicht aufser Acht lassen, dafs die Säule ein unerschöpflicher Quell von Elektricität ist und dafs, wenn gleich das Elektrometer durch eine Glasröhre, welche die Verbindung von der Säule aus damit macht, fast augenblicklich auf die Spannung der Säule geladen zu werden scheint, das wirkliche Quantum von Elektricität, welches in dieser Zeit dadurch fortgeleitet wird, doch viele millionenmal geringer seyn kann, als das durch einen guten Leiter, z. B. durch einen Metalldraht, fortgeleitete, weswegen die Unterbrechung des Kreises der einfachen Kette oder Säule auch nur durch das kleinste Fragment einer Glasröhre alle Wirkungen unterbricht, welche von dem eigentlichen Strome der Säule abhängen.

2) Alle *nicht metallische brennbare einfache Körper* verhalten sich als Isolatoren, und zwar die meisten in einem noch

1 Schweigg. Journ. N. R. V. 251.

höheren Grade als das Glas, namentlich Phosphor, Schwefel, Selen, Boron, Silicium, Chlor, Iod, Brom. Von dem reinen Chlor ohne Wasser, das sich nur durch künstlichen Druck darstellen läſst, hat Faraday gefunden, daſs wenigstens die Elektricität der Volta'schen Säule ganz ohne Wirkung darauf ist, und bei seiner groſsen Aehnlichkeit mit dem Brom, von welchem, so wie von dem Iod de la Rive durch directe Versuche gefunden hat, daſs sie vollkommene Isolatoren des Stromes der Volta'schen Säule sind [1], läſst sich mit Sicherheit annehmen, daſs es gleichfalls als Isolator wirke. Merkwürdig ist es, daſs diese beiden letzteren Körper das Leitungsvermögen des sehr kleinen Antheiles von Wasser, wodurch sie gelöset werden, sogleich erhöhen, so wie sie selbst auch, wenn sie befeuchtet sind, sich als gute Leiter zeigen. Von Brom, Silicium und Selen ist die isolirende Eigenschaft durch Berzelius nachgewiesen. Selbst die Kohle macht in ihrer reinsten Form als Diamant keine Ausnahme von der Regel, wobei dann freilich die Umwandlung dieses vielleicht vollkommensten Isolators in einen trefflichen Leiter durch die kleinste Beimischung von Eisen oder einem Alkalimetalle, ja, wie es scheint, durch eine bloſse Veränderung in der Aggregation der Theilchen zu den mannigfaltigen räthselhaften Erscheinungen gehört, für welche es uns noch gänzlich an einem allgemeinen Erklärungsprincipe mangelt.

3) Alle *Oxyde* der Metalle, der schweren sowohl als der leichten, namentlich also auch alle einfachen Erden und Alkalien mit den oben bereits angegebenen wenigen Ausnahmen sind, ihres hygroskopischen Wassers beraubt, Isolatoren der Elektricität. Dieses gilt auch von den Hydraten der Oxyde. Eben so alle Iod-, Chlor- und Bromverbindungen in ihrem möglichst trockenen Zustande.

4) Alle *Salze* ohne Ausnahme verhalten sich gleichfalls als Isolatoren, namentlich auch alle metallische Salze. Dieses gilt selbst von den Salzen, wenn sie noch ihr Krystallisationswasser enthalten. Pelletier [2] führt dieses ausdrücklich von den Salzen an. Doch ist diese isolirende Eigenschaft nur eine relative, weswegen denn auch Priestley [3], der ihre leitende Eigen-

1 Kastner's Archiv. XI. 388.

2 G. LXVI. 200.

3 Geschichte der Elektricität. S. 400.

schaft nach ihrer Fähigkeit, eine elektrische Batterie zu entladen, schätzte, die Salze im Allgemeinen zu den ziemlich guten Leitern rechnet. Am besten leitend fand er den Alaun, demnächst Steinsalz, Salmiak noch besser als beide. Salpeter leitete schlechter, denn der Erschütterungsschlag, über seine Oberfläche hingeführt, zerstreute ihn in viele Stücke. Die Metallsalze leiteten besser als die Neutralsalze, namentlich blauer und grüner Vitriol.

5) Alle vollkommen trockene *Steine* und *Erdarten*, besonders die härteren Steine, die den glasartigen sich mehr nähern, verhalten sich als Nichtleiter. Priestley[1] behauptet zwar von allen steinartigen Substanzen, dafs sie auch warm und trocken sehr gute Leiter sind, und namentlich führt er als solche die Marmorarten, gemeinen Kalkstein, Gyps, Alabaster, spanische Kreide, lydischen Stein, Zeichenschiefer, aegyptischen Granit, selbst den geschliffenen Achat auf. Indefs erhellt aus der Art, wie Priestley seine Versuche anstellte, nur so viel, dafs der elektrische Funke von dem ersten Leiter der Maschine aus in einer gröfseren Entfernung ausgezogen werden konnte, als ohne diese Körper, doch so, dafs der Funke über ihre Oberfläche hinfuhr. Pelletier führt ausdrücklich an, dafs alle Steine Nichtleiter seyen, mit Ausnahme des Lazulits, Gadolinits und des Lepidolits, welche schwach, der schwarzen Hornblende, welche ziemlich gut, und des Bronzits, welcher stark leitet. Einige gefärbte Marmorarten sollen schwach leiten.

6) Alle *brennbare Mineralien*, mit Ausnahme der Kohlenblende (Anthracit), der mineralischen Holzkohle und des Graphits, gehören zu den vorzüglichsten Isolatoren, namentlich der Bernstein, Honigstein, Asphalt, Gagat, fast alle Arten von Steinkohlen, und ohne Zweifel ist der vollkommenste aller Isolatoren, so wie der durch Reiben am stärksten positiv werdende Körper der Diamant. Auch die flüssigen brennbaren Mineralien, wie das Steinöl, die natürliche Naphtha, verhalten sich als Isolatoren.

7) Von Producten des Pflanzenreichs sind vorzüglich gute Isolatoren alle *Harze* ohne Ausnahme und sie stehen in dieser Hinsicht nächst dem Diamant oben an. Ein vorzüglicher Nichtleiter ist das Schellack (*gummi laccae*) und das daraus verfeinerte Siegellack. Wie die Harze verhalten sich auch das Fe-

1 A. a. O. 407.

derharz (Cautchouk), das Wachs und Myricin. Auch andere trockene Pflanzenproducte, insbesondere der Zucker, das arabische Gummi in recht trockenem Zustande, die trockenen Pflanzensäuren und Pflanzensalze, wie Weinstein, Kleesalz und verwandte Materien sind Nichtleiter. Auch die eigentlichen Bildungstheile der Pflanzen in recht trockenem Zustande, wie das Holz, die Rinde u. s. w., sind Nichtleiter. Eben so verhält sich die Baumwolle. Dagegen sind die Faser des Leinens und das Garn und die daraus gewebten Zeuge auch im trockenen Zustande Leiter; eben so das Mark des Hollunders.

8) Besonders vollkommene Isolatoren sind die *fetten Oele* des Pflanzenreichs. Dieses zeigte Priestley durch viele Versuche. Wurde die äufsere Belegung der Batterie in gute leitende Verbindung mit Oel gebracht, und ein Metalldraht, der mit der innern Belegung verbunden war, der Oberfläche des Oels genähert, so wurde dieses bis auf eine Höhe von 0,75 Zoll erhoben und die Oelsäule war um so dicker, je näher der Draht dem Oele kam, ohne dafs die Ladung sich auffallend verminderte. Auch wenn die äufsere und innere Belegung der Batterie an 10 Minuten lang mit einem Teller voll Baumöl in Verbindung gebracht wurde, war die Ladung nicht mehr zerstreut, als wenn gar keine solche Communication statt gefunden hätte. Dieselbe isolirende Eigenschaft beobachtete Priestley auch an den *ätherischen* und *empyrheumatischen* Oelen, so wie den natürlichen *Balsamen*. Der Aether verhält sich als ein Nichtleiter, dagegen nähert sich der Weingeist, selbst der absolute Alkohol, schon sehr dem reinen Wasser, hinsichtlich seines Leitungsvermögens.

9) Alle *festweiche thierische Theile*, die in ihrem natürlichen Zustande so vortreffliche Leiter sind, verlieren dieses Leitungsvermögen gänzlich durch möglichste Austrocknung, besonders für Elektricität von geringer Spannung. Als ausgezeichnete Nichtleiter verhalten sich ganz vorzüglich die trockenen Hautbedeckungen aller Thiere, insbesondere die Haare, alle Arten von Pelzwerk, alle Arten von Federn, die Gespinnste der Raupen, besonders die des Seidenwurms, die rohe und verarbeitete Seide und die mannigfaltigen aus derselben gewebten Zeuge.

10) Alle *fette Substanzen des Thierreichs*, wie Talg, Wachs, Wallrath u. s. w., sind eben solche Isolatoren, wie die Pflanzenöle.

11) Von dem besondern Verhalten der Seife und des getrockneten Eiweifses wird weiter unten noch die Rede seyn.

12) Das *Eis* wird in dem Verhältnisse mehr zum Nichtleiter, in welchem es kälter ist. Achard hat im Monate Januar 1776 zu Berlin wahrgenommen, dafs das Eis bei einer Kälte von — 20° R. ein elektrischer Körper und ein Nichtleiter sey. Er machte seine Versuche in freier Luft, wo er fand, dafs eine Stange von Eis, die 2 Schuh lang und 2 Zoll dick war, einen sehr schlechten Leiter abgab, wenn das Thermometer — 6° R. zeigte, und dafs sie nicht im geringsten mehr leitete, als das Thermometer auf — 20° R. fiel. Er drehte ein Sphäroid von Eis auf einer dazu eingerichteten Maschine und elektrisirte dadurch einen ersten Leiter, dafs er leichte Körper anzog, zurückstiefs, Funken gab u. s. w.; das Eis, das er gebrauchte, war frei von Luftblasen und ganz durchsichtig.

13) Die *atmosphärische Luft* und alle *Gasarten* gehören, wenn sie nicht etwa zu dünn oder zu erhitzt sind, zu den Nichtleitern. Im Allgemeinen scheinen die Gasarten der Elektricität in dem Verhältnisse mehr Widerstand zu leisten, in welchem ihre Dichtigkeit zunimmt. Da unter demselben Drucke die verschiedenen Luftarten eine sehr verschiedene Dichtigkeit haben, so ist auch ihr Isolationsvermögen verschieden. Das leichte Wasserstoffgas scheint dem Durchgange der Elektricität am wenigsten Widerstand zu leisten, und von diesem verschiedenen Isolationsvermögen der Luftarten mag es auch abhängen, dafs Elektrisirmaschinen in eingeschlossener Luft unter Glocken eine gröfsere Wirkung im Sauerstoffgase, als im Wasserstoffgase, dem gekohlten Wasserstoffgase und dergl. zeigen, ohne dafs man eine chemische Wirkung der Luft zur Erregung der Elektricität (durch Oxydation des Amalgams) anzunehmen genöthigt ist.

Auch die Dämpfe, namentlich der Wasserdampf, wenn er ganz rein und durch keinen Niederschlag von Wasser getrübt ist (Nebel), isoliren. So wird die Volta'sche Säule, wenn man die ganz durchsichtigen Wasserdämpfe an die Mündung der Aeolipile zwischen den zwei Polardrähten auffängt, nicht geschlossen, die Divergenz der mit denselben verbundenen Elektrometer bleibt unverändert[1].

1 Erman in G. XXII. 45.

Wenn gleich alle diese Körper im Allgemeinen sich als Nichtleiter beweisen, so ist doch schon mehrmals erinnert worden, dafs sie der Fortpflanzung der Elektricität keinen absoluten Widerstand entgegensetzen und dafs nur die längere Zeit es ist, die ein gewisses Quantum von Elektricität erfordert, um sich durch sie hindurchzubewegen, was sie zu Nichtleitern macht. Diese Zeit giebt sogar ein Mittel an die Hand, die relativ verschiedene isolirende Eigenschaft oder den comparativen Grad von Leitungsvermögen, welcher denselben immer noch zukommt, mit einiger Genauigkeit zu bestimmen. Rousseau[1] hat hierzu eine nicht unzweckmäfsige Vorrichtung angegeben. Diese besteht dem Wesentlichen nach darin, dafs mit dem obern Pole einer grofsen trockenen Säule, deren unterer Pol mit dem Erdboden in Verbindung ist, eine schwach magnetisirte Nadel und eine Metallkugel so in Verbindung gebracht werden, dafs die Elektricität des oberen Poles an die Kugel übergeht und also die Nadel abstöfst, bis sie in einem gewissen Abweichungswinkel zur Ruhe kommt. Die Zeit, welche verstreicht, bis nach mehreren Oscillationen die Nadel zur Ruhe kommt, ist das Mafs des Leitungsvermögens der verschiedenen Isolatoren, die langsam genug leiten, um solche Zeitunterschiede noch wahrnehmen zu können. Es versteht sich, dafs auch hier nur die Vergleichung für gleiche Durchmesser und Längen gilt. Um Flüssigkeiten in dieser Hinsicht mit einander vergleichen zu können, bringt Rousseau diese in kleine Gefäfse, die durch ihren Fufs mit der Nadel und Kugel in Verbindung stehen, taucht hierauf das eine Ende eines Metalldrahtes in die Flüssigkeit und bringt stets eine gleich grofse Metallfläche mit dieser dadurch in Berührung, dafs er einen Theil des Metalldrahtes mit Siegellack überzieht, dann mifst er die Dauer der Bewegungen der Nadel von dem Augenblicke an, worin die Verbindung mit der Säule durch das andere Ende des Drahtes bewirkt wurde. Auf diese Art hat Rousseau gefunden, dafs das Olivenöl in Vergleichung mit andern pflanzlichen und thierischen Oelen ein sehr geringes Leitungsvermögen besitzt, denn unter übrigens gleichen Umständen waren zu einer gewissen Ablenkung beim Olivenöle 40″, beim Buchecker- oder Mohnöle hingegen nur 27″ erforderlich.

---

1 Ann. de Chimie et Phys. T. XXV. p. 373. und Poggendorff's Ann. LXXVIII. S. 195.

Versetzte er das Olivenöl auch nur mit dem hundertsten Theile eines fremden Oeles, so fiel die zu demselben Ende nöthige Zeit sogleich auf 10″, und deshalb hält er auch dieses Instrument für geeignet, die Verfalschung des Olivenöles mit andern Oelen zu entdecken, in welcher Hinsicht jedoch für die Praxis andere chemische Verfahrungsarten den Vorzug behaupten möchten. Er fand durch dieses Instrument ferner, dafs feste Fette weniger gut leiten, als animalische Oele, was ohne Zweifel von dem gröfseren Gehalte der ersteren an Stearine herrührt, denn von der nach Chevreul's Methode bereiteten Oleine und Stearine zeigte sich ihm erstere merklich besser leitend als letztere. Ein thierisches Fett leitet um so schlechter, je älter das Individuum war, von dem es genommen worden. Es zeigte sich auch ein beträchtlicher Unterschied in dem Leitungsvermögen des Harzes, des Gummilacks, des Schwefels, der Seide, des gemeinen und des Krystallglases. Für die geistigen, wässerigen, sauren, alkalischen und salzigen Flüssigkeiten konnte Rousseau keinen Unterschied im Leitungsvermögen bestimmen, da die Zeit, in welcher die Nadel zum Maximum ihrer Abweichung gelangte, zu kurz war, als dafs man eine ungleiche Dauer hätte beobachten können.

C. Halbleiter.

Man hat noch eine dritte Classe von Körpern in Rücksicht auf die Verschiedenheit im Leitungsvermögen unterschieden, die in der Mitte zwischen den beiden Hauptclassen steht, gleichsam den Uebergang von der einen zur andern macht und die man eben deswegen *Halbleiter* genannt hat. Es ergiebt sich aber schon aus dem Vorhergehenden, dafs jede solche Aufstellung und Abgrenzung eine willkürliche ist, da die Leiter, von den besten ausgegangen, durch eine Menge von Stufen in die Nichtleiter übergehen, welche selbst wieder unter sich eine Menge von Graden des Isolirungsvermögens begreifen. Viele dieser sogenannten Halbleiter sind gleichsam nur Gemenge von Leitern und Nichtleitern und leiten nur in dem Verhältnisse mehr oder weniger, in welchem die leitenden Theilchen mehr oder weniger häufig eingemengt sind. Vorzüglich ist es das hygroskopische Wasser, was solche Körper, die in ihrem absolut trockenen Zustande sehr vollkommene Isolatoren sind, in Leiter in einem gewissen

Grade verwandelt. Eben diese Körper sind daher in ihrem gewöhnlichen Zustande Halbleiter, wenn sie der freien Luft ausgesetzt mit deren Feuchtigkeit ins Gleichgewicht kommen. Dahin gehören besonders Elfenbein, Schildpatt, Knochen, Horn, Leder, Papier, Pergament, Holz im Zustande gewöhnlicher Trockenheit, ferner mehrere nicht zu dichte und harte Steinarten, wie insbesondere die Marmor- und Alabasterarten u. drgl. Selbst durch eine mäfsige Austrocknung verlieren sie diese Eigenschaft nicht, da sie alsdann als sehr hygroskopische Körper immer noch einen ziemlichen Antheil Feuchtigkeit zurückhalten. Volta hat sie wegen dieser ihrer Eigenschaft vorzüglich zur Unterlage der Collectorplatten des Condensators gebraucht und ihnen auch zuerst jenen Namen beigelegt. Manche Steine können auch dadurch solche Halbleiter werden, dafs in sie Theilchen von sehr guten Leitern, wie von Erzen, Metalloxydulen, fein eingesprengt sind. In diesem Falle kann man durch sie keinen einfachen Funken aus dem ersten Leiter der Elektrisirmaschine ziehen, sondern die Elektricität geht in sehr vielen feinen Fünkchen in sie über. Bei dem ungeheuern Abstande in dem Leitungsvermögen, welcher zwischen den Metallen und dem Wasser und wässerigen Flüssigkeiten, selbst solchen, die mit Salzen, Säuren und Alkalien stark gesättigt sind, statt findet, hat man in neuern Zeiten nicht selten auch diese zweite Hauptclasse von Leitern mit dem Namen Halbleiter bezeichnet.

V. Verschiedenes Verhalten der Körper in Ansehung ihres Leitungsvermögens für Elektricität nach Verschiedenheit dieser selbst. Unipolare und bipolare Leiter und Isolatoren.

Für die Anhänger der Franklin'schen Theorie kann es nicht wohl eine Verschiedenheit der Körper in Rücksicht auf Leitungs- und Isolirungsvermögen für positive und negative Elektricität geben. Für den Dualisten mufs dagegen allerdings ein solches verschiedenes Verhältnifs eines und desselben Körpers für + E und — E existiren können und das unbestreitbare Nachweisen dieser Verschiedenheit durch unzweideutige Versuche würde zu-

gleich der schlagendste Beweis für die Naturgemäfsheit der dualistischen Ansicht seyn. Diesen entscheidenden Beweis würde allerdings Erman geliefert haben, wenn die fünffach verschiedene Modification des Leitungsvermögens und zwar zunächst für die Elektricität der Volta'schen Säule nach Verschiedenheit der specifischen Beschaffenheit der Körper, welche er durch eine Reihe scharfsinniger Versuche ausmittelte, keine andere Erklärung, als die von ihm angenommene, zuliefse. Für diese fünffache Verschiedenheit brachte Erman folgende fünf Benennungen als die passendsten in Vorschlag und gab zugleich die kurze Charakteristik derselben auf folgende Weise:

I. Classe. *Nichtleiter.* Man kann durch sie keinen der einzelnen Pole weder laden, noch entladen; im Conflicte beider Pole hemmen sie folglich alle wechselseitige Wirkung jedes Pols; der Kreis wird durch sie nicht geschlossen.

II. Classe. *Vollkommene Leiter.* Jede Wirkung eines individuellen Pols, des positiven, so wie des negativen, verschwindet bei deren Anbringung; der Kreis ist, wenn der Körper als Mittelglied in denselben gebracht wird, vollkommen geschlossen.

III. Classe. *Bipolare Leiter.* Die specifischen Wirkungen beider Pole sind an dem Leiter selbst zugleich wahrnehmbar. Er theilt sich in zwei Zonen, wovon die eine den positiven, die andere den negativen Effect zeigt; der Kreis ist durch diesen Leiter als Mittelglied in demselben unvollkommen geschlossen.

IV. Classe. *Positiv-unipolare Leiter.* Der von Pol zu Pol angebrachte Leiter isolirt im Conflicte den negativen Effect und leitet nur den positiven; der Kreis ist *nicht geschlossen,* daher bleibt nach ableitender Berührung dieses Mittelgliedes der negative Pol im Maximum geladen und der positive durchaus entladen, doch leitet dieser Körper, wenn er nicht als Mittelglied in den Kreis aufgenommen wird, den negativen Pol für sich allein gleichmäfsig wie den positiven.

V. Classe. *Negativ-unipolare Leiter.* Sie verhalten sich in jeder Hinsicht gegen den negativen Pol, wie die der 4ten Classe gegen den positiven.

Die beiden ersten Classen waren längst bekannt und gehörig unterschieden, besonders in ihren Extremen. Zur dritten Classe gehören alle poröse, durch Haarröhrchenkraft das Wasser auf-

nehmende Körper, welche an und für sich im trocknen Zustande Nichtleiter, im befeuchteten Zustande aber unvollkommene Leiter sind, wie nasse Fäden, nasse Streifen Papier, nasse Bündel Amianth, ferner das reine destillirte Wasser selbst, auf eine passende Weise in Röhren gebracht, welche, wenn sie die beiden Pole einer Volta'schen Säule mit einander verbinden, keine vollkommene Ausgleichung bewirken, sondern sich in zwei Zonen theilen, eine positive an der dem positiven und eine negative an der dem negativen Pole zugekehrten Seite. Die darauf bezüglichen Erscheinungen sind bereits unter dem Artikel *Galvanismus*[1] genau betrachtet worden.

Die Phänomene der sogenannten *positiven Unipolarität* zeigt jede gewöhnliche *Lichtflamme* und von ihnen ist bereits oben die Rede gewesen. Eben so wirkt die *Weingeistflamme*. Ist sie *vollkommen isolirt*, so vermindert sie die Divergenz des Elektrometers, dessen Verbindungsdraht sie mit der Spitze berührt, wenn dasselbe mit dem Pole einer zu diesem Behufe vollkommen isolirten und an beiden Polen mit gleich empfindlichen und daher gleiche Spannung zeigenden Elektrometern versehenen Säule verbunden ist, *nicht merklich*, vernichtet sie aber gänzlich und bringt zugleich die Divergenz des mit dem entgegengesetzten Pole verbundenen Elektrometers auf das Maximum, sobald sie mit dem Erdboden in ableitende Verbindung gebracht wird, und zwar ist diese Wirkung an *beiden Polen durchaus* gleich. Verbindet man aber beide Polardrähte mit derselben isolirten Flamme, so zeigen die beiden Elektrometer durch ihre Divergenz, die nach wie vor unverändert besteht, dafs der Kreis durchaus nicht geschlossen ist und dafs also die leitende Eigenschaft der Flamme im Conflicte beider Pole durchaus verloren gegangen ist. Berührt man aber irgend einen Pol ableitend, so erhält dadurch das entgegengesetzte Elektrometer das Maximum der Divergenz, eben so als wenn sich die Säule daselbst in der vollkommensten Isolation befände. Berührt man die Flamme selbst ableitend, so erhält das Elektrometer am negativen Pole das Maximum der Divergenz und das Elektrometer des positiven Pols verliert jede Spur davon, wenn man ihm auch früher absichtlich die gröfstmögliche Divergenz auf die kurz zuvor angezeigte Weise ertheilt hatte, und es ist ganz un-

1 Dieses Wörterb. Bd. IV. Abth. 2. S. 845.

möglich, durch Vermittelung der Flamme auf den negativen Pol zu wirken. Diese relativ so entgegengesetzte Wirkung auf den positiven und negativen Pol findet schon statt, wenn auch nur der Zuleiter, welcher mit dem Erdboden in Verbindung ist, sich der Spitze der Flamme nähert, ja wenn man auch nur mit einer unisolirten metallenen Spitze oder Scheibe oder auch mit der bloſsen Hand über der Flamme in einer Entfernung von mehreren Zollen, ja von einigen Fuſsen langsam wegfährt. Ganz auf dieselbe Weise, wie die Weingeistflamme, verhält sich die Flamme aller Substanzen, welche in ihrer Mischung Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, also namentlich die Flamme der Naphtha, der fetten und ätherischen Oele, des Bernsteins, Kamphers, der Harze, des Wachses und Talges, die sämmtlich positiv-unipolar sind. Der Kohlenstoff ist jedoch zu dieser Wirkung keine nothwendige Bedingung, denn ganz eben so verhält sich die Flamme des chemisch reinen *Wasserstoffgases.* Die Flamme des *Schwefels* hingegen isolirt jeden Effect der Säule; es ist unmöglich, durch ihre Vermittelung irgend einen Pol zu leiten, und es findet auch dieselbe Isolation an beiden Polen statt, wenn die Flamme des Schwefels als Mittelglied zwischen beide Drähte in den Kreis tritt; der geringste Antheil an Kohlenstoff oder Wasserstoff verändert aber diese isolirende Eigenschaft der Schwefelflamme und so tritt namentlich die Flamme des *Schwefelfadens* mit einer auffallenden Bestimmtheit in die Classe der positiv-unipolaren Leiter.

Dieses merkwürdige Verhalten der unipolaren Leitung bedingt auch die Entstehung der Contractionen eines reizbaren Froschpräparats unter bestimmten Bedingungen. Dieses Froschpräparat sey am negativen Pole als vermittelndes Glied angebracht. Nun schlieſse man den Kreis an der isolirten hydrocarbonisirten Flamme mit einem völlig isolirten Auslader, so wird nie die mindeste Spur einer Contraction statt finden, da die Flamme nur den positiven Effect leitet, den negativen aber ganz vollkommen isolirt. Wiederholt man aber die Schlieſsung mit dem einzigen Unterschiede, daſs der Schlieſsungsdraht nicht isolirt gehalten wird, so entstehen augenblicklich Zuckungen; der negative Pol und an ihm das Froschpräparat hat sich nämlich auf das Maximum der Spannung geladen und es findet eine Entladung desselben in den Erdboden statt, sobald man den unisolirten Auslader an das Präparat bringt. Denselben Erfolg erhält man aber

auch, wenn keine Flamme im Spiele ist und man durch augenblickliche Berührung des positiven Pols den negativen auf das Maximum geladen hat. Auch hier wird man durch Berührung des mit demselben in Verbindung stehenden Froschpräparats mit einem unisolirten Auslader Contractionen erregen, zum Beweise, daſs eine einseitige momentane Entladung eines Pols durch das reizbare Präparat ohne fortdauernde Strömung einen hinlänglichen Reiz auf den Nerven desselben ausüben kann. Die Flamme des *Phosphors* verhält sich ganz anders, als die hydrocarbonisirte und die des Schwefels, nämlich als *negativ-unipolar*, doch war der Erfolg nicht so ausgezeichnet, als bei einigen andern hierher gehörigen Körpern; nur verhielt sie sich in allen Fällen bestimmt nicht als positiv-unipolar. Die geringste Zumischung von Wasserstoff und Kohlenstoff ändert die Flamme des Phosphors ganz auffallend und macht sie unipolar-positiv.

Als bestimmt *negativ-unipolare* Leiter will Erman das concrete trockene *thierische Eiweiſs* und die feste alkalische *Seife* jeder Art, wenn sie nur zum höchsten Grade der Trockenheit gebracht worden war, gefunden haben. Berührt man nämlich bei einer vollkommen isolirten Säule, deren Pole mit Elektrometern verbunden sind, den einen Pol durch eine auch noch so groſse Masse von höchst trockener Seife, die man frei in der Hand hält, so verliert der berührte Pol augenblicklich alle seine Divergenz und der entgegengesetzte erhält das correspondirende Maximum der Spannung. Es zeigt sich hierbei ein durchaus gleiches Verhalten in Ansehung der beiden Pole, auch wird jeder derselben einzeln von der ganz trockenen Seife eben so vollkommen abgeleitet, als wenn sie am Berührungspuncte benetzt ist. Steckt man nun die Enden der beiden Polardrähte in eine und dieselbe Masse vollkommen isolirter Seife, so zeigen sich die beiden Pole der Säule vollkommen isolirt und man kann jeden einzelnen durch ableitende Berührung des andern auf das Maximum laden, die Säule ist durchaus nicht geschlossen. Sobald man aber die Seife selbst in ableitende Berührung mit dem Boden bringt, so divergirt augenblicklich das Elektrometer des positiven Pols auf das Aeuſserste, das des negativen dagegen hat alle Divergenz verloren; die Seife isolirt so vollkommen den positiven Pol, daſs man mit der feinsten Spitze ganz dicht am positiven Drahte keinen Punct auffinden kann, durch dessen Berührung man dem positiven Pole auch nur das Mindeste von

seiner Ladung zu entziehen vermöchte. Die negative Unipolarität und das Nichtgeschlossenseyn der Säule in der Seife erhellet am auffallendsten, wenn man mit benetzten Fingern den negativen in die Seife gehenden Draht und die Seife selbst berührt. Es wird keine Erschütterung statt finden und das Elektrometer unverändert bleiben. Schliefst man aber mit dem benetzten Finger am positiven Drahte und an der Seife, so erhält man eine Erschütterung, die Elektrometer sind beide ausgeglichen und der Kreis ist geschlossen. Unterbricht man die Continuität eines der in der Seife befestigten Drähte und schaltet daran einen Gasapparat ein, so wird, da der Kreis nicht geschlossen ist, auch keine Wasserzersetzung statt finden, so lange die Polardrähte lediglich durch Vermittelung der Seife auf einander wirken; legt man ein Stück befeuchteten Schwamm oder eine Tuchscheibe so an den negativen Polardraht, dafs sie zugleich die Fläche der Seife berührt, so bleibt alles wie zuvor, sobald man aber den feuchten Leiter zwischen den positiven Draht und die Substanz der Seife andrückt, so stellt sich augenblicklich die Wasserzersetzung mit voller Energie ein und die Elektrometer bezeugen zugleich durch das Verschwinden ihrer Divergenz, dafs nun eine vollständige Leitung eingetreten ist. Die Feuchtigkeit ist also hier gleichsam der vermittelnde Leiter der positiven Elektricität zwischen der Seife und dem Metalle, welche von diesem nicht unmittelbar in die Seife übergeht, daher auch dieselbe Metallplatte, welche im feuchten Zustande in gemeinschaftliche Berührung mit dem positiven Drahte und der Seife gebracht die Wasserzersetzung vermittelt, ganz ohne Wirkung ist, wenn sie im ganz trockenen Zustande auf dieselbe Weise angelegt wird. Eben wegen dieser Wirkung der Feuchtigkeit mufs man, um jene bestimmte unipolare Wirkung der Seife zu haben, dieselbe im vollkommen trockenen Zustande anwenden.

Alle Erscheinungen der negativen Unipolarität zeigt gleich auffallend, wie die Seife, Erman's Versuchen zufolge, der *concrete trockene Eiweifsstoff*, welchen man dadurch am besten erhält, dafs man das durch anhaltendes Kochen des Eies im Wasser geronnene Eiweifs 6 bis 7 Tage an der Luft eintrocknen läfst, bis die Masse dem Bernstein an Farbe und Durchscheinbarkeit, nicht aber an Sprödigkeit ähnlich geworden ist.

Erman giebt keine Erklärung dieser sonderbaren Erschei-

nungen und begnügt sich bloſs damit, das Unhaltbare einer Hypothese, die er sich früher erdacht hatte, daſs nämlich durch den chemischen Proceſs, welcher augenblicklich durch den elektrischen Proceſs eingeleitet wird, eben so augenblicklich an dem negativen Drahte in der hydrocarbonisirten Flamme ein öliger Ueberzug, so wie ein ähnlicher durch Zersetzung der Seife an dem positiven Drahte erzeugt werde, womit dann eben auch die Leitung der Elektricität im ersten Falle von der negativen, im zweiten Falle von der positiven Seite her aufhören müsse, nachzuweisen.

Diese wichtigen Beobachtungen Erman's haben sich jedoch nicht vollkommen bei Wiederholung dieser Versuche durch andere Physiker bestätigt, auch sind sie mit andern Erfahrungen auf eine solche Weise verknüpft worden, daſs der neue Gewinn, welchen sie der elektrischen Theorie zu bringen versprachen, nicht mehr so bedeutend erscheint. Erstlich sind Brugnatelli und Configliachi als Gegner Erman's in einer ihnen gemeinschaftlichen Arbeit[1] aufgetreten und haben dieses Gebiet von Erfahrungen zugleich erweitert. Sie stellten ihre Versuche nur mit einer kleinen Säule von 12 Platten Zink und Kupfer an und muſsten sich daher des Condensators bedienen, um die elektroskopischen Veränderungen genau zu bestimmen, die sie aber für hinlänglich stark dazu hielten, da der Condensator ein so sehr starkes, nämlich ein 250faches Condensationsvermögen besaſs. Im Allgemeinen fanden diese Physiker, daſs, wenn die beiden Pole ihrer Säule durch einen unvollkommenen Leiter mit einander verbunden waren (und als solche verhielten sich alle Körper mit Ausnahme der polirten Metalle), die wechselseitige Ausgleichung der Pole nie vollkommen, sondern daſs stets eine rückständige Spannung vorhanden war. Diese wurde dadurch ausgemittelt, daſs der Condensator mit dem einen Pole in Verbindung gebracht wurde, bei ableitender Berührung des andern Pols. Die rückständige Spannung war dem Grade nach verschieden, je nachdem der Körper, durch welchen der Kreis geschlossen worden war, ein verschiedenes Leitungsvermögen hatte; dabei war sie aber nicht von gleicher Gröſse in beiden Polen, sondern bald gröſser in dem positiven, bald gröſser in dem ne-

---

1 Gehlen's Journ. d. Chem., Ph. und Min. VIII. 319. und vorläufig in IV. 454.

gativen Pole, je nach der verschiedenen Beschaffenheit des zur Schliefsung angewandten Körpers. Insbesondere stimmten darin ihre Resultate mit denen von Erman erhaltenen überein, dafs bei Anwendung der Weingeistflamme und ableitender Berührung derselben die rückständige Spannung des negativen Pols stets auf ihr Maximum gebracht wurde, während der positive Pol ohne alle Spannung zurückgeblieben war. Nicht so constant und in keinem so vollkommenen Grade zeigte sich dagegen auch die trockenste Seife in ihren Versuchen als negativ-unipolar, indem zwar allerdings der positive Pol ein gröfseres Maximum von Spannung zeigte, aber auch am negativen Pole sich ein kleiner Rückstand von Spannung zu erkennen gab. Sie fanden nämlich, dafs unabhängig von aller Feuchtigkeit, welche allerdings auf die Modification der Leitungsfähigkeit der Seife einen höchst merkwürdigen Einflufs äufsert, die Seife in einzelnen Fällen vielmehr die Spannung des negativen Pols erhöhte und sich demnach positiv-unipolar verhielt. Dieses bemerkten sie, wenn sie die Seife erwärmten, z. B. nur einige Minuten der Sonne aussetzten, doch nahm sie beim Abkühlen wieder ihre dem positiven Pole mehr günstige Beschaffenheit an. Ammonium, auf einen Streifen Papier leicht aufgetragen und als Verbindungsglied beider Pole angewandt, verhielt sich zwar als positiv-unipolarer Leiter, d. h. erhöhte die Spannung des negativen Pols, aber weder bis zu demselben Maximum, noch so beständig wie die Flamme, und sogar noch weniger und mit geringerer Beständigkeit, als die Seife die Spannung des positiven Pols erhöhte. Auflösungen von kaustischem Kali und Natron durch Papierstreifen zur Verbindung beider Pole angewandt wirkten wie Seife, obgleich die Wirkung geringer (ohne Zweifel wegen ihres vollkommenern Leitungsvermögens) und veränderlicher war. Eine grofse Menge von Körpern aus allen drei Naturreichen wurden auf dieselbe Weise von ihnen untersucht und sie zeigten im Durchschnitte dieselben Erscheinungen wie jene Normalkörper, nur in einem geringeren Grade, dafs nämlich die rückständige Spannung in dem einen Pole erhöht, in dem andern vermindert war. Selbst Metalle zeigten bisweilen diese Erscheinungen, wenn sie an der Berührungsstelle beschmutzt oder oxydirt waren. Viele dieser Substanzen zeigten sich bisweilen gegen beide Pole gleichgültig, so dafs, wenn man den leitenden Bogen, den sie bildeten, in der Mitte berührte, sie die rückstän-

dige Spannung beider Pole auf gleiche Weise vermindert zeigten. Dieser Umstand der Berührung in der Mitte ist nämlich hierbei als kein gleichgültiger zu betrachten, indem die Berührungsstelle von bedeutendem Einflusse bei allen denjenigen Substanzen ist, welche jene einseitige Wirkung überhaupt in keinem hohen Grade und nicht mit solcher Beständigkeit zeigen, wie etwa die Seife, bei welcher der Ort, wo sie ableitend berührt wird, nicht sehr in Betracht kommt. Ueber den Einfluſs der verschiedenen Umstände, welche jenes Verhalten der Körper hinsichtlich der Ableitung der Pole einer Säule mannigfaltig modificiren, stellten jene Physiker besonders viele Versuche an, aus welchen sich denn ergab, daſs dieselben Körper sich eben darum in dieser Hinsicht sehr veränderlich verhalten und daſs oft in kurzer Zeit ihre unipolare Eigenschaft für den einen Pol durch einen indifferenten Zustand in die entgegengesetzte für den andern Pol übergehen könne. Je weniger auffallend die Körper jene Eigenschaft zeigten, d. h. je unvollkommnere Leiter sie überhaupt waren, um so mehr zeigte sich eine solche Wandelbarkeit. Das bloſse Umdrehen derselben, indem sie mit demjenigen Ende, mit welchem sie mit dem einen Pole in Berührung gestanden hatten, mit dem andern Pole zusammengebracht wurden, hatte eine solche Umwandlung zur Folge, namentlich bei Salzen, Erden, animalischen und vegetabilischen Substanzen. Doch brachte die Umkehrung diese Wirkung nicht constant hervor.

Das Erklärungsprincip für alle diese Erscheinungen ist jenen Physikern zufolge ein gedoppeltes. Das eine erklärt die Veränderlichkeit in den Resultaten, wie sie sich bei den meisten unvollkommenen Leitern zeigt, das zweite die Beständigkeit der sogenannten Unipolarität, wodurch sich einige wenige gleichfalls unvollkommene Leiter vor den übrigen auszeichnen.

Was das erste betrifft, so lautet es dahin, daſs, so oft in dem unvollkommnen Leiter, welcher die Verbindung zwischen den beiden Polen macht, von dem Puncte aus, an welchem die Ableitung nach dem Erdboden geschieht, nach dem einen Pole eine vollkommenere Zuleitung statt findet, als nach dem andern, jener Pol die geringere Spannung oder öfters auch gar keine zeigen wird, während der andere Pol eine noch auffallende rückständige Spannung zeigt, um so gröſser, je gröſser der Unterschied der Leitungsfähigkeit auf beiden Seiten ist. Dieser Unterschied in der Leitungsfähigkeit auf beiden Seiten kann durch

mannigfaltige sehr veränderliche Umstände herbeigeführt werden, namentlich durch den verschiedenen Grad der Befeuchtung, durch die verschiedene Ausdehnung, durch die verschiedene Temperatur, durch die verschiedene Innigkeit und Ausdehnung der Berührung mit dem Polardrahte selbst. Absichtlich angestellte Versuche bestätigten die Richtigkeit dieses Princips. Eben darum wird derselbe unvollkommene Leiter, der in der einen Lage sich als ein positiv-unipolarer verhielt, bei der Umkehrung vielmehr vorzugsweise den negativen Pol ableiten und sich als ein negativ-unipolarer Leiter verhalten, denn wenn im ersteren Falle die mit einer *gröfseren Leitungsfähigkeit* begabte Seite, sey es nun wegen ihrer gröfseren Feuchtigkeit oder ihres gröfseren Durchmessers oder ihrer geringeren Ausdehnung in die Länge oder auch einer eigenthümlichen innern Anlagerung der Theilchen auf dieser Seite, sofern nämlich bei vielen unvollkommenen Leitern, besonders bei animalischen und vegetabilischen Substanzen, eine solche Verschiedenheit in dem Gewebe in verschiedenen Stellen öfters statt findet, *mehr positive Elektricität ableiten mufste als negative,* ohne dafs man darum gezwungen ist, eine specifisch verschiedene Leitungsfähigkeit für beiderlei Arten von Elektricität anzunehmen, und folglich die Spannung des negativen Pols relativ erhöht werden mufste, so wird das entgegengesetzte Resultat statt finden, wenn in dem zweiten Falle die besser leitende Seite nach dem negativen Pole hingekehrt wird. Aus demselben Grunde liegt der Indifferenzpunct zwischen den beiden Zonen, in welche sich alle diese unvollkommene Leiter theilen, wenn sie den leitenden Bogen zwischen den beiden Polen bilden (in welcher Hinsicht sie sich sämmtlich als sogenannte bipolare Leiter nach Erman's obiger Eintheilung verhalten), selten genau in ihrer Mitte, sondern bald mehr nach dem positiven, bald mehr nach dem negativen Pole hin und kann sogar mit dem einen Pole vollkommen zusammenfallen, so dafs der unvollkommene Leiter in seiner ganzen Ausdehnung eine einseitige Polarität zeigt. Immer wird diejenige Polarität sich in dem unvollkommenen Leiter weiter erstrecken, deren Elektricität weniger vollkommen geleitet wird, wegen der durch die oben angeführten Umstände herbeigeführten geringeren Leitungsfähigkeit der dem Pole zugekehrten Seite des unvollkommenen Leiters.

Für diejenigen Substanzen, welche in ihrer Unipolarität eine

relative Beständigkeit zeigen, die also stets den einen Pol vorzugsweise oder ausschliefsend ableiten, an welcher Stelle in ihrer Ausdehnung man auch die Ableitung anbringen mag und wie verschieden auch dadurch die beiden Hälften des verbindenden Bogens ihrer Ausdehnung nach beschaffen seyn mögen, glauben jene Physiker den Grund dieser sonderbaren Eigenschaft in dem electromotorischen Verhalten, welches sie gegen andere Körper zeigen, gefunden zu haben. Die Seife theilt nämlich mit den schwachen alkalischen Auflösungen die Eigenschaft, in Berührung mit andern Körpern, namentlich also auch mit den Leitern, welche die Verbindung mit dem Erdboden machen, positiv elektrisch zu werden. Dadurch wird sie weniger geneigt, die positive Elektricität von einer andern Seite her aufzunehmen, oder ist mehr in dem Zustande, dem negativen Pole positive Elektricität zuzuführen. Umgekehrt verhält sich die hydrocarbonisirte Flamme, so wie auch die reine Wasserstoffgasflamme, welche mit dem Metalldrahte, der von ihnen aus eine Ableitung nach dem Erdboden macht, vielmehr eine negative Spannung annehmen und eben darum weniger geneigt sind, den negativen Pol abzuleiten, dagegen mehr im Stande sind, durch ihr eigenes Minus den positiven Pol zu neutralisiren; doch äufsern auch auf diese Körper jene nach dem ersten Principe wirkenden Umstände ihren Einflufs und man begreift, wie durch das Zusammenwirken und Entgegenwirken dieser beiden Principien, indem das zweite auch bei den übrigen unvollkommenen Leitern nicht ohne Wirkung ist, die Erscheinungen höchst mannigfaltig modificirt werden müssen. Man sieht zugleich ohne weitere Erörterung ein, dafs nach dieser Erklärung jene Erscheinungen die streitige Frage wegen des Dualismus zu keiner weiteren Entscheidung bringen.

Auch Prechtl[1] hat auf eine sehr scharfsinnige Weise eine Zurückführung auf die Grundgesetze der elektrischen Leitung und Ladung versucht, deren Princip in einiger Hinsicht mit demjenigen der italiänischen Physiker übereinstimmt. Aus der von ihm ausführlich entwickelten Theorie der Ladung leitet Prechtl folgende allgemeine Regel ab. Wenn zwei elektrische Pole (entweder die Pole der Säule oder zwei im Gegensatze

1 G. XXXV. 23.

stehende Elektricitäten überhaupt) durch ein System einander berührender, in ihrem Leitungsvermögen differenter und dergestalt geordneter Körper, dafs die Maxima ihrer Differenzen an beiden Enden liegen, mittelst dieser Enden in Verbindung gesetzt werden, so tritt keine Schliefsung der Pole ein und die elektrische Disposition jenes Systems ist von dem Verhältnisse dieser Differenzen zu der elektrischen Tension der Pole (worin vorzüglich das Neue in der Ansicht liegt) abhängig. 1) Ist das Verhältnifs jener Differenzen gröfser, als jenes der elektrischen Tension, so ist der im Leitungsvermögen negativ-differente Körper (der schlechtere Leiter von den beiden, die an den Polen anliegen) für den Pol, den er berührt, in dieser elektrischen Tension absolut isolirend. 2) Ist das Verhältnifs der elektrischen Tension gröfser, als das der Leitungsdifferenzen der die respectiven Pole berührenden Körper, so ist der im Leitungsvermögen negativ-differente Körper für den Pol, welchen er berührt, mehr oder weniger vollständig isolirend, so dafs der Effect jenes Pols, welchen der bessere Leiter berührt, weiter verbreitet ist, und zwar a) nahen sich die räumlichen Verbreitungen beider Pole um so mehr, je gröfser das Verhältnifs der Tension gegen die Differenz der Leitung ist, so dafs Gleichheit der Verbreitung (Bipolarität) eintritt, wenn diese Differenz gegen jenes Verhältnifs verschwindet und umgekehrt ist; b) der eine Polareffect ist mittelst des positiv-differenten Leiters um so weiter gegen den andern Pol verbreitet, je mehr das Verhältnifs der elektrischen Tension gegen jenes der Leitungsdifferenz sich dem Verhältnisse der Gleichheit nähert, so dafs 3) bei dieser Gleichheit die Verbreitung des Effects von dem mit dem negativ-differenten Leiter in Berührung stehenden Pole $= 0$ ist, während sich der Effect des andern Pols mittelst des positiv-differenten Leiters auf die ganze Zwischenverbindung bis an den jenseitigen Pol erstreckt und solchergestalt die relative Isolirung vollständig vorhanden ist. Errichtet man daher aus irgend einem Puncte dieser Zwischenverbindung eine Gemeinschaft mit einem Leiter von grofser Fläche, z. B. dem Erdboden, so gilt diese Leitung nur für jenen Pol, mit welchem der positiv-differente Halbleiter in Verbindung ist, der andere Pol erscheint relativ isolirt und erhält das Maximum seiner Spannung.

Prechtl hat diese allgemeine Regel durch eine Reihe interessanter Versuche bestätigt, die auf das genaueste mit der-

selben zusammenstimmten. Er verband die Polardrähte von Säulen, bei denen die Anzahl der Platten ungleich war, durch verschiedene Halbleiter in schicklicher Form von gleicher Ausdehnung, zu deren Unterlagen er Siegellackstangen, die sich auf Glasplatten befanden, nahm, wo dann stets einer von den angeführten Hauptfällen eintreten mufste, nach dem Verhältnisse der Unterschiede im Leitungsvermögen jener Körper (gegen die Metalle, aus denen die Polarstücke bestehen, als vollkommene Leiter bestimmt) und in der Tension der Pole. Wir führen aus der Reihe der Versuche nur zwei an. Schwefelsäure am positiven, mit Wasser getränktes Lackmuspapier (um das Fortschreiten der Säure zu beobachten) am negativen Pole. Der Kreis war nicht geschlossen, der positive Effect war über die ganze heterogene Verbindung bis nahe an den negativen Pol verbreitet, denn berührte man ableitend sowohl die Schwefelsäure, als auch das feuchte Papier bis nahe an dem negativen Pole, so divergirte das Elektrometer *am negativen Pole* (durch einen Druckfehler steht am positiven Pole). Wie sich die Schwefelsäure durch das feuchte Papier zog, vergröfserte sich der negative Effect und es trat endlich Bipolarität ein. Das Umgekehrte erfolgte, wenn die Schwefelsäure an den negativen und das feuchte Papier an den positiven Pol gebracht wurden. Zwei Holzstreifen von gleichen Dimensionen, welche sich sowohl einzeln, als auch in ihrer Verbindung bipolar verhielten, wurden in der Feuchtigkeit nur so weit unterschieden, dafs der eine (a) einmal, der andere (b) zweimal durch die halbfeuchten Fingerspitzen gezogen wurden. Der Leiter a lag am positiven, der Leiter b am negativen Pole einer schwachen Säule. Der Effect des negativen Pols erstreckte sich beiläufig bis auf 0,75 der Länge der heterogenen Verbindung, der Effect des positiven bis etwa 0,25 jener Länge. Wie nach einiger Zeit durch die Verdunstung das Leitungsvermögen noch weniger different wurde, so zog sich der positive Effect zunehmend näher gegen die Mitte, an das Ende seines Leiters. Sobald man den Leiter b wieder etwas befeuchtete, so trat der positive Effect wieder etwas zurück, bis endlich bei stärkerer Befeuchtung die ganze Verbindung im negativen Effecte war. Bei einer stärkeren Elektricität verschwand jene geringe Differenz im Leitungsvermögen und die Verbindung zeigte sich bipolar. In diesen und ähnlichen Versuchen war die Verschiedenheit des Leitungsvermögens des Zwischenleiters an beiden Polen

schon ursprünglich vorhanden, da er aus zwei oder mehreren heterogenen Körpern bestand.

Schwieriger scheint die Anwendung dieses Erklärungsprincips auf die durch Erman's Versuche constatirten Fälle, in welchen die Zwischenleiter, wie die Flamme, die trockene Seife, das trockene Eiweifs, von vollkommen gleichförmiger Beschaffenheit sind. Hier sucht nun Prechtl die Verschiedenheit des Leitungsvermögens der an die beiden Pole grenzenden Enden als Folge einer qualitativen Modification, welche sogleich mit der Schliefsung der Säule eintritt und durch das verschiedene Verhältnifs dieser Pole gegen die Leiter herbeigeführt wird, nachzuweisen. In Beziehung auf die sogenannten negativ-unipolaren Leiter sucht derselbe alles auf die gröfsere Anziehung des Wassers nach der negativen Seite und das dadurch erhöhte Leitungsvermögen an dieser Seite zurückzuführen. Diese Anziehung zum Wasser soll durch die an der negativen Seite auftretende Tendenz zur Hydrogenirung (!) bewirkt werden, da nur durch Zersetzung des Wassers diese Tendenz befriedigt werden könne. Das Wasser, sey es auch in der Substanz nur im Minimum verbreitet oder selbst nur als Krystallisationswasser vorhanden, werde in die Nähe des negativen Drahtes gezogen und dadurch das Phänomen der negativen Unipolarität bewirkt. Befeuchtet man den positiven Pol, so wird die Ungleichheit der Leitung aufgehoben, daher der Kreis geschlossen. Diese Anziehung soll vorzüglich durch das Natron bewirkt werden, von welchem eigentlich die Leitung abhänge. Die durch die Wirkung des negativen Pols in der an denselben angrenzenden Seite bewirkte Anziehung der Feuchtigkeit soll durch Versuche vor Augen gelegt werden können; denn wenn man die völlig trocknen Enden der Polardrähte in die isolirte Seife bringe und nach einigen Augenblicken wieder aus derselben herausziehe und sie auf reagirendes Papier abwische, so gebe nur das negative Ende, so weit es in der Seife gesteckt hatte, eine alkalische Reaction, während das positive Drahtende keine oder zuweilen nur äufserst geringe Spuren dieser Färbung bei längerer Dauer der Schliefsung zeige. Gerade so verhalte es sich auch mit dem getrockneten Eiweifs, welches Natron in demselben Zustande wie die Seife enthalte. Bei der Flamme soll diese ungleiche Leitung an den beiden, mit den Polen in Verbindung tretenden Seiten der Flamme durch die vermöge der verschiedenen Wir-

kung der Pole ungleiche Temperatur und zwar die bessere Leitung an der positiven Seite durch die daselbst bewirkte viel stärkere Erhitzung und damit die positive Unipolarität bedingt seyn. PRECHTL sucht diese höhere Temperatur der Flamme auf der positiven Seite theils durch unmittelbare Erfahrungen, theils durch Schlüsse nachzuweisen und leitet sie von der gröfseren Verzehrung des Sauerstoffs auf der positiven Seite ab, da diese positive Zone der Flamme, wie alle Körper, besonders aber die oxygenirbaren, durch positive Elektrisirung eine gröfsere Anziehung zum Sauerstoff erhalte.

Wenn gleich in der ganzen Darstellung dieser Phänomene durch PRECHTL ein schöner Zusammenhang ist und das von demselben im Allgemeinen aufgestellte Erklärungsprincip jener sonderbaren Erscheinungen der bipolaren und unipolaren Leitung aus blofser ungleicher Leitung auf beiden Seiten wohl begründet zu seyn scheint, so möchte doch die besondere Art der Anwendung auf die im engern Sinne unipolaren Leiter manche Einwendungen und Zweifel zulassen. Dafs eigentliche Feuchtigkeit, die nach der negativen Seite vorzugsweise hingezogen werde, die gröfsere Leitung des Natrons und der Körper, welche Natron in gewissen losen chemischen Verbindungen enthalten, wie Seife und Eiweifs, und damit ihre negative Unipolarität bestimme, dürfte nicht wohl anzunehmen seyn, da mit der Anziehung des Hydrogens, von welcher diese Anziehung des Wassers abhängen soll, eine Zurückstofsung des Oxygens gleichzeitig ist und sich also beide Effecte in Beziehung auf das indifferente Wasser aufheben. Vielmehr kann man die gröfsere Leitung auf der negativen Seite von der Ausscheidung des Natrons oder Kali's ableiten, während die Oelsäure, welche auf der Seite des positiven Pols ausgeschieden wird, ein relativer Nichtleiter ist. Indefs scheint auch dieser, wie allen ähnlichen chemischen Erklärungen, der Umstand im Wege zu stehn, dafs jene merkwürdigen Phänomene der Unipolarität sich schon im ersten Augenblicke der Schliefsung in ihrer ganzen Stärke zeigen, während zur Ausscheidung einer hinlänglichen Schicht jener relativ isolirenden Oelsäure doch einige Zeit erforderlich seyn würde. Inzwischen liefse es sich wohl denken, dafs bei der auf jeden Fall nur sehr unvollkommenen Leitung, welche die trockene Seife gewährt, und bei der ohne Vergleich besseren Leitung in der Säule selbst das Zuströmen der Elektricität stark genug fortdauern könne,

damit ungeachtet der statt findenden Ausgleichung der Elektricitäten im Augenblicke der Schliefsung immer noch eine wenigstens für die Beobachtung ungeschwächte Spannung beider Pole fortbestehe und, wenn dann der eigentliche Versuch über die Wirkung eines Ableiters angestellt wird, bis zu welchem doch immer eine gewisse Zeit, wie klein sie auch seyn mag, verstreicht, jener Effect, der mit dem ersten untheilbaren Augenblicke beginnt, eine hinlängliche Intensität erreicht habe. Gegen die von PRECHTL versuchte Erklärung der positiven Unipolarität der Flamme spricht als ein kaum zu beseitigender Einwurf das entgegengesetzte negativ-unipolare Verhalten der Phosphorflamme. Dagegen liefse sich dieses entgegengesetzte Verhalten aus dem von den italienischen Physikern aufgestellten zweiten Principe erklären, da die Flamme des Phosphors im Contacte mit den Metallen ein entgegengesetztes Verhalten wie die hydrocarbonisirte Flamme zeigt.

In einigem Zusammenhange mit den bisher abgehandelten Erscheinungen der unipolaren Leitung steht eine andere Reihe durch ERMAN beobachteter Phänomene, welche gleichfalls dem ersten Anscheine nach eine specifisch verschiedene Reaction der beiden entgegengesetzten Elektricitäten im Gebiete der Leitung darbieten. ERMAN's Erfahrungen[1] betreffen das Verhalten der sogenannten Glüh- oder aphlogistischen Lampe. Diese belehrten ihn (sofern wir auch hier die von uns gewöhnlich in diesen Artikeln angenommenen Ausdrücke anwenden), *dafs von dem glühenden Platindrahte der Glühlampe die positive Elektricität ungemein leicht ausströmt, aber nur mit der gröfsten Schwierigkeit in ihn einströmt, während es sich mit der negativen Elektricität umgekehrt verhält, die in ihn mit ausgezeichneter Leichtigkeit einströmt, aber beim Ausströmen aus ihm nach Aufsen die gröfste Schwierigkeit findet*, worin gleichsam ein doppelter reciproker Gegensatz beider Elektricitäten liegt.

Der Normalversuch, aus welchem dieses Resultat hervorzugehn schien, war dieser. Auf ein Goldblattelektrometer von etwas grofser Dimension, um dem zu leichten Anschlagen zu entgehn, stelle man eine Glühlampe, deren Platindraht vorzüglich in seinen obern Windungen recht lebhaft glüht, welche

1 Abhandl. der Berl. Acad. der Wissenschaften für d. Jahr 1819 und 1820. S. 225.

letztere Bedingung unerläſslich ist. Man halte über die Lampe in der Entfernung von 4 — 6 Zollen den negativen Pol einer trockenen Säule oder die negative Belegung einer nur sehr schwach geladenen Ladungsflasche. Das Elektrometer wird augenblicklich divergiren und fortwährend anschlagen. Man wiederhole dasselbe mit dem positiven Pole oder der positiven Belegung, es wird bei gleicher Entfernung entweder gar keine wahrnehmbare Divergenz oder eine ohne allen Vergleich schwächere statt finden. Nun befestige man in derselben Entfernung von 4 bis 6″ über der isolirten Glühlampe einen isolirt getragenen leitenden Schirm, etwa eine 4- bis 5zollige Scheibe von leichtem Blech oder metallisirtem Papier; mit diesem Schirme bringe man das Elektrometer in Verbindung und gebe nun der isolirten Lampe mittelst derselben Säule oder derselben Flasche zuerst positive Ladung, so wird dem darüber befindlichen Schirme schnell und continuirlich die positive Elektricität zugeleitet, wie die schnelle Divergenz und das wiederholte Anschlagen seines Elektrometers zeigt. Von der negativ geladenen Lampe hingegen bekommt der Schirm entweder gar keine Ladung, oder eine gegen die vorige positive ganz unverhältniſsmäſsig schwache oder fast verschwindende.

Diese Versuche wurden von Erman auf die mannigfaltigste Weise, sowohl was die Intensität der Elektricität, als auch die Art des Elektrometers und die Disposition der aphlogistischen Lampe betraf, abgeändert und gaben stets dieselben Resultate. Bei der schwachen Elektricität einer feuchten Säule von 100 Platten Zink und Kupfer wurde ein Condensator zu Hülfe genommen. Folgende Zusammenstellung zeigte die entgegengesetzte Reciprocität der Leitung der beiden elektrischen Thätigkeiten durch glühenden Platindraht besonders auffallend. Ein Kugelelektroskop, das aus einem wohl isolirten Messingdrahte von 6 Zoll Länge bestand, an dessen einem Ende zwei Hollundermarkkugeln an sehr feinen Messingdrähten hingen und dessen entgegengesetztes Ende sich in eine Metallkugel von 2 Zoll im Durchmesser endigte, reichte mit dem abgerundeten Ende über den glühenden Platindraht der isolirten Lampe in einer Entfernung von beiläufig einem oder zwei Zollen. Nun wurde dem Elektrometer eine positive Divergenz gegeben und der Lampe, die mit einem gleichen Elektrometer in Verbindung gesetzt war, eine negative. Beide Divergenzen bestanden unverändert neben

einander und nach Viertel-, ja nach halben Stunden waren sie unter günstigen Umständen noch nicht ganz ausgeglichen (?), es fand also fast vollkommene Isolation statt, wenn man an die schnelle Ausgleichung von + und — E in dieser Nähe denkt. Ladet man umgekehrt das Elektrometer negativ und die Lampe positiv, so sind nach einigen Secunden, oft nach einer einzigen, beide Divergenzen verschwunden, ja es gehört ein rasches Verfahren dazu, um überhaupt die entgegengesetzten Divergenzen mitzutheilen, so schnell strömt die positive Elektricität aus und die negative ein, während in der umgekehrten Zusammenstellung weder die positive aus dem Elektrometer in die Lampe einströmen, noch die negative von der Lampe in das Elektrometer ausströmen konnte. Bei dem ersten Anblicke könnte man diese Thatsachen als einen peremtorisch factischen Beweis für die Theorie *einer* elektrischen Materie und den Gegensatz des + und — als den eines Ueberflusses und Mangels derselben ansehn. Um nämlich das ganze Phänomen, so weit es bis jetzt beschrieben worden ist, vollständig zu erklären, darf man nur annehmen, die positiv geladene Lampe habe einen Ueberfluſs der elektrischen Flüssigkeit und die negative einen Mangel, ferner betrachte man, gestützt auf Analogie, den Dampf oder auch die erwärmte Luft, die vom Platindrahte aufwärts gegen den Schirm strömt, als guten Leiter dieser Flüssigkeit, so ist einzusehn, daſs die positive Lampe nach dem Sinne und mittelst dieser Strömung ihre Elektricität an den Schirm abgeben wird. Ist dagegen der Schirm positiv, d. h. hat er Elektricität im Ueberflusse, so wird von ihm wenig oder nichts an die Lampe abgegeben werden, eben weil die Theile, die zuleiten sollten, nicht vom Schirme zur Lampe, sondern umgekehrt strömen. Eben so begreiflich ist es, daſs die Lampe unter einem negativ geladenen Schirme (d. h. im Sinne der Hypothese unter einem, der Mangel hat) von ihrer natürlichen Elektricität abgeben müsse an diesen, gegen welchen die fortleitenden Dämpfe aufsteigen, weswegen dann das Elektrometer der Lampe negative Divergenz annehmen muſs. Ist endlich die Lampe negativ oder Mangel an Elektricität habend, so kann sie von dem Schirme über ihr nichts empfangen, weil diese Mittheilung gegen den Sinn der aufsteigenden Dampf- und Lufttheile gehen müſste, da dasjenige, was ihr den Mangel vom Schirme aus ersetzen sollte, umgekehrt von der Lampe zum Schirme geht. Indeſs wird diese so plausible Erklärung

durch folgende Thatsachen, auf die oben noch nicht Rücksicht genommen war, über den Haufen geworfen:

1) Es ist zum Behuf jener Reciprocität gar nicht nöthig, dafs die Stellung so sey, wie sie oben beschrieben worden ist, nämlich in der verticalen Richtung über einander, sondern dieselben Wirkungen finden in allen Richtungen statt; man kann das Elektrometer, auf welchem die Glühlampe sich befindet, bis zum Anschlagen laden, durch einen negativ erregten Körper, den man in gehöriger Entfernung von 6 bis 8 Zollen in jeder beliebigen Richtung annähert, horizontal daneben eben so gut wie vertical darüber. Der glühende Platindraht wirkt die negative Elektricität anziehend, gleichsam wie aus dem Mittelpuncte einer Sphäre. Dieses soll sogar gelingen, wenn man den glühenden Platindraht in umgekehrter Stellung anwendet und der Schirm vertical unter der Lampe steht, so dafs offenbar die Erklärung durch aërostatische Strömungen ausgeschlossen wird, wobei wir jedoch bemerken müssen, dafs wir nicht recht begreifen, wie auf diese Weise mit Weingeist und Docht eine aphlogistische Lampe vorgerichtet werden kann. 2) Dann will Erman gefunden haben, dafs Dämpfe und erwärmte Luft die positive Elektricität nicht in der Richtung, in welcher sich ihre Theilchen bewegen, fortleiten. 3) Es wurden Eisenmassen, sowohl von ebener als auch von kugelrunder Gestalt, bis zum lebhaftesten Glühen erhitzt und durch obige Mittel auf die Art ihrer Leitung geprüft. Hier zeigte sich zwar in zwei Versuchen auch eine solche Reciprocität, aber nur so lange das lebhafte Glühen des Metalls fortdauerte, ungeachtet auch später noch jene Luftströme, welche auf eine mechanische Art die Elektricität fortleiten sollten, als fortbestehend angenommen werden müssen, und diese Reciprocität war gerade in entgegengesetztem Sinne, wodurch also die Erklärung nach der Franklin'schen Theorie gänzlich über den Haufen geworfen wird. 4) Endlich ist diese reciproke Wirkung durchaus bedingt durch einen *bestimmten Grad des Glühens* des Platins und zwar in seinen äufsersten Gewinden. Glüht eine gröfsere Zahl von solchen Windungen, und Erman brachte durch eine sehr einfache Einrichtung schon Massen von 397 Gran Platin zu continuirlichem Glühen, wodurch die Verdampfung des Weingeistes viel stärker wird und folglich das reichlichere Strömen von Dämpfen und verdünnter Luft das Phänomen noch auffallender darstellen sollte, so hört

vielmehr alle Reciprocität auf und die negative Elektricität wird eben sowohl wie die positive von der aphlogistischen Lampe zum darüber stehenden Schirme fortgeleitet. Eben weil die Franklin'sche Theorie demnach nicht zur Erklärung jener Phänomene hinreicht, sieht Erman dieselben vielmehr als einen Beweis gegen diese Theorie an. Dagegen glaubt er sie sehr wohl unter die dualistische Ansicht bringen zu können, indem er sie als bedingt durch die specifische Eigenthümlichkeit beider elektrischer Thätigkeiten ansieht, daſs nämlich die positive Elektricität einen höheren Grad von Expansibilität habe, als die negative. Wenn nun ein Körper durch besondere Umstände mehr geeignet wäre, Elektricität expandirend ausströmen zu lassen, so wird die positive als die expansiblere etwas mehr, die negative etwas weniger an dieser Bethätigung Theil nehmen. Daſs vermehrte Wärme die Leitungsfähigkeit erhöhe, beweisen alle Erscheinungen[1], und sie wirkt also auf eine ähnliche Art, wie die mechanische Formänderung, die Zuspitzung, welche gleichfalls die Fortleitung und Ausbreitung begünstigt und von welcher vielleicht genauere Versuche noch erweisen mögen, daſs auch durch sie die Ausströmung der positiven Elektricität als der expansibleren mehr begünstigt werde, als der negativen. Das glühende Platin ist zu betrachten als eine *Spitze,* an der also durch Glühen das Metall selbst oder die dasselbe umgebende, auf einen bestimmten Grad erhitzte Atmosphäre der Gasarten oder wahrscheinlich beide zugleich die Fortleitung der Elektricität nach Auſsen überhaupt begünstigen. Dieses bildlich sogenannte Ausströmen wird auch hier etwas kräftiger von der positiven als von der negativen Elektricität geschehen. Die 4 Hauptmodificationen des Versuchs stimmen mit diesen Prämissen vollkommen zusammen und rechtfertigen eben damit die Erklärung.

1) Ist über dem positiv geladenen Platindrahte mit seinem durch Glühen gesetzten oder potenzirten Spitzenwerthe ein Schirm im elektrischen Gleichgewichte, so würde ohne den Mechanismus der Spitze eine bloſse Vertheilung statt finden. Bei der bestehenden Erhöhung der Mittheilung kann aber das expansiblere positive Fluidum zum Schirme sich fortpflanzen und ihn durch Mittheilung laden.

---

1 Davy's spätere Erfahrungen beweisen bei Metallen das Gegentheil.

2) Ist der Schirm positiv und die Lampe im natürlichen elektrischen Gleichgewichte, so bekommt die Lampe durch Vertheilung die Tendenz, negative Elektricität gegen den Schirm auszuströmen. Diese hat aber durch den Mechanismus der Spitze und des Glühens viel weniger oder fast gar nicht an Expansibilität oder Ableitungsfähigkeit gewonnen, es wird also dieses Negative nicht viel mehr und in einer Entfernung von einigen Zollen durchaus gar nicht mehr zum Ausströmen gegen den Schirm bethätigt seyn, als im natürlichen nicht glühenden Zustande der Spitze. Es ist kein Grund vorhanden, warum der Erfolg anders seyn sollte bei der glühenden, als bei der nicht glühenden Lampe. Denn am Schirme hat das Positive nur die seiner Spannung überhaupt entsprechende Expansibilität, an der Lampe aber findet bei einem gewissen Grade des Glühens eine Steigerung statt, die jedoch absolut so schwach ist, daſs der Zuwachs nur für das an sich expansiblere + wahrnehmbar wird, für das minder expansible — aber nicht. Auch lehrt die Erfahrung, daſs die reciproken Erscheinungen verschwinden, 1) wenn die aphlogistische Lampe durch zu groſse Intensität der Wirkung sich einer gewöhnlichen Weingeistlampe nähert, in welchem Falle nämlich die Fortleitung (Ausströmung) überhaupt so begünstigt wird, daſs der Vorzug, den auch hier noch die positive Elektricität wegen gröſserer Bethätigung ihrer Expansion haben möchte, gleichsam verschwindet, und 2) wenn die absolute Intensität der elektrischen Ladungen so groſs gewählt wird, daſs der geringe Zuwachs aufhören muſs, wahrnehmbar zu seyn. Der 3te Fall, wo die Glühlampe negativ geladen ist und über sich einen Schirm im natürlichen Zustande hat, so wie der 4te Fall, wo die Glühlampe im natürlichen indifferenten Zustande und der Schirm negativ geladen ist, erklären sich auf ganz ähnliche Weise.

Alles kommt also beim Gelingen auf den gehörigen Grad der Temperatur an, die gerade groſs genug seyn muſs, um die Fortleitungs- oder Ausströmungsfähigkeit der Elektricität zu begünstigen, wie bei den Spitzen, aber auch nicht groſs genug, um diese Expansibilität so kräftig zu bethätigen, daſs der nur sehr zarte specifische Unterschied beider Thätigkeiten für die Wahrnehmung verschwinde.

VI. Theoretische Betrachtungen.

Der Vorgang der Leitung und Fortpflanzung der Elektricität, wenn von dem Wesen desselben d. h. der Wirkungsform der zunächst hierbei thätigen Kräfte die Rede ist, wird nach Verschiedenheit der theoretischen Ansichten über das Wesen der Elektricität überhaupt verschieden aufgefafst werden müssen. Seine verschiedene Construction diesem gemäfs wird zugleich einen Probirstein für den Vorzug der einen vor der andern abgeben, sofern die eine oder die andere dieser Constructionen die Analogie mit andern bereits genauer bekannten und weniger verborgenen Vorgängen in der Natur mehr für sich hat und von allen Modificationen desselben durch die verschiedenen Umstände, die erfahrungsmäfsig ihren Einflufs darauf äufsern, eine genügende, mit den allgemeinsten Naturgesetzen übereinstimmende Rechenschaft giebt. Wenn wir zuerst die Hypothese zweier elektrischen Materien oder auch, um einer blofs dynamischen Darstellung hier freien Spielraum zu lassen, zweier elektrischen Kräfte zum Grunde legen, die jede für sich betrachtet durch repulsive Thätigkeit, in Beziehung auf einander aber durch Anziehung wirken, wodurch sie sich selbst wechselseitig binden und ihre repulsive Thätigkeit aufheben, so scheint uns Oerstedt den Vorgang der Leitung und die wesentlichsten Modificationen desselben im Sinne dieser Theorie sehr richtig dargestellt zu haben[1]. Jeder *Mittheilung* geht nämlich nach einem allgemeinen Erfahrungsgesetze eine *Vertheilung* voran, welche darin besteht, dafs die elektrische Thätigkeit, welche durch irgend einen Leiter fortgepflanzt werden soll, in diesem an derjenigen Seite, welche der zu leitenden elektrischen Thätigkeit zugekehrt ist, ihren Gegensatz hervorruft. Wenn nun diese elektrische Kraft sich durch den Raum des Leiters verbreitet, so geschieht dieses so, dafs sie gleich in der nächsten Zone die entgegengesetzte Kraft anzieht, diese bindet und selbst davon wieder eine Verminderung erleidet, wodurch also die nächste Zone wirklich das Uebergewicht derselben Kraft, die sich verbreitet, erhalten hat, selbst aber eine neue Zone der entgegengesetzten erregt, um sie doch auch wieder aufzuheben. Man kann diese Art der Verbreitung eine undulatorische nennen.

---

1 Darstellung der Naturgesetze. S. 188 fg.

In den guten Leitern heben sich diese Gegensätze so geschwind, dafs keine unmittelbare Wahrnehmung davon möglich ist, in den schlechten Leitern kann man sie aber mit dem Elektrometer entdecken und viele durch einander erregte Abwechselungen von positiven und negativen Zonen nachweisen. PRIESTLEY und CAVALLO haben solche Beobachtungen an Glasröhren gemacht[1]. Auch in den bessern Leitern glaubt OERSTEDT diese Art der Fortleitung auf eine indirecte Weise deutlich zu erkennen, wenn nämlich die elektrische Wirkung Spuren an denselben hinterlassen hat, in welchem Falle sie auch in der That nicht als vollkommen gute Leiter gewirkt haben. Er rechnet dahin, dafs ein Metalldraht, welcher durch die Elektricität geschmolzen ist, immer in kleinen Perlen oder Kugeln erscheint, worin also ausgedehntere und zusammengezogene Zonen mit einander abwechseln, und dafs, wenn man einen Metalldraht durch eine starke elektrische Entladung in Dunst verwandelt und diesen auf einem untergelegten Stücke Papier auffängt, sich derselbe in so regelmäfsigen Abtheilungen anlegt, dafs die Verbreitung der Elektricität darin deutlich abgebildet erscheint[2]. Die Leitung ist also nach dieser Ansicht eine *innere* Veränderung in den elektrischen Kräften der Körper selbst, und so lange diese Kräfte selbst noch *anziehend* auf einander wirken, *durchdringen* sie das Innere der Körper. Diese Durchdringung, als charakteristisch für den Vorgang der Leitung, hat sich uns oben am deutlichsten aus dem Gesetze ergeben, dafs der Grad der Leitung, sofern sie in der angegebenen Ausgleichung besteht, keine Function der Oberfläche, sondern der Masse der Körper selbst d. h. ihres Durchschnittes ist, und zwar bestätigt sich dieses Gesetz nicht blofs für die mit schwacher Spannung begabten Elektricitäten der galvanischen Apparate, sondern auch für die starken elektrischen Intensitäten der Leidner Flaschen und selbst die stärkste Intensität des Blitzes, welcher die Körper durchdringt, ihre Cohäsion aufhebt und ihre Theile nach allen Seiten zerstreut. Erst dann, wenn die Leitung ihr Ziel erreicht hat, d. h. die wechselseitige Ausgleichung so vollkommen erfolgt ist, als sie unter den gegebenen Umständen erfolgen kann, wird der Ueber-

---

1 CAVALLO's Elektricitätslehre. I. S. 47. PRIESTLEY's Geschichte der Elektricität. S. 161.

2 Vergl. *Schlag, elektrischer.*

schufs der einen oder der andern elektrischen Thätigkeit, die nun ihrer bloſsen Repulsivkraft folgt, ihre Grenze an der Oberfläche des Leiters finden, und für diese Art der Verbreitung, wobei die Elektricität mit rückständiger freier Spannung auftritt, kommen also auch nur die Gröſse und Gestalt der Oberfläche in Betracht.

Wie nun aber die verschiedene Gröſse der Leitung durch die besondere Beschaffenheit der Körper selbst bestimmt wird und wie ferner die besondern Umstände, welche die Gröſse der Leitung nach Nr. III. dieses Artikels bestimmen, ihren Einfluſs ausüben, darüber schwebt noch ein völliges Dunkel. Es muſs vor allen Dingen der groſse und wesentliche Unterschied zwischen dem Leitungsvermögen der Metalle und der chemisch-zersetzbaren Flüssigkeiten auffallen und der Gedanke sich aufdringen, daſs in dieser chemischen Zersetzbarkeit selbst der Grund dieser Verschiedenheit liegen möchte. Wirklich scheinen auch in den Flüssigkeiten elektrische Leitung und chemische Zersetzung gleichen Schritt mit einander zu halten und die eine durch die andere sogar bedingt zu seyn. Prechtl hat zunächst für die Volta'sche Säule diese Ansicht geltend zu machen gesucht und auf eine sinnreiche Weise ausgeführt[1]. Alle Leitung in der geschlossenen Säule soll nur dadurch zu Stande kommen, daſs die geladenen Schichten der leitenden Flüssigkeit, die mit entgegengesetzten Elektricitäten an den einander gegenüberstehenden, gleichfalls entgegengesetzt elektrischen Metallen der Plattenpaare anliegen, zersetzt werden, wobei sich ihre Elektricitäten neutralisiren und immer wieder neue Ladung eintreten kann, um neue Entladung zu bewirken. Die Säuren und Salze wirken daher um so besser, je leichter und schneller zwischen ihnen und den Metallen die chemischen Aenderungen vorgehen, und das reine von Luft und Säure freie Wasser hindert daher alle Leitung und chemische Wirksamkeit der Säule, weil seine Zersetzung bei schwacher elektrischer Tension zu langsam und schwierig zwischen den Plattenpaaren erfolgt. Diese Beziehung der elektrischen Leitung durch die Flüssigkeiten auf ihre chemische Zersetzbarkeit zeigt sich auch noch in jener merkwürdigen Abweichung der Metalle von ihrem Verhalten, wenn sie für sich allein als Leiter gebraucht werden, von demjenigen, wenn sie

1 G. XXXV. 63 fg.

einen flüssigen Leiter unterbrechen. Hier scheint die Leitung immer um so besser zu seyn, je stärker die Flüssigkeit chemisch auf das Metall wirkt, und eben darum die mehr oxydirbaren Metalle einen Vorzug vor den weniger oxydirbaren oder edeln Metallen zu behaupten, die doch bei der sogenannten trockenen Leitung sich als die bessern Leiter beweisen. Die früheren Versuche über diesen Gegenstand sind neuerlich in einem noch größeren Umfange durch DE LA RIVE[1] bestätigt worden, welcher die Metalle folgende Ordnung beobachtend fand, wenn der Anfang mit dem schlechtesten Leiter gemacht wird: Platin, Kupfer, Zinn, Eisen, Zink. Wie sehr hierbei die chemische Einwirkung in Betracht komme, zeigte besonders der Versuch, dafs ein eiserner Bogen eine stärkere Leitung als ein kupferner gewährte, wenn die Gläser, in welche die Metallbogen mit ihren beiden Enden eintauchten, mit einer verdünnten Säure oder Salzauflösung gefüllt waren, der eiserne dagegen fast gar keine Wirkung, der kupferne aber eine sehr starke zeigte, wenn die Enden in Ammoniak getaucht waren, das auf das Kupfer sehr kräftig, auf das Eisen so gut wie gar nicht einwirkt.

Wenn sich aber auch in diesen und ähnlichen Erscheinungen eine bestimmte Beziehung zwischen elektrischer Leitung und Chemismus zeigt, so würde man doch viel zu weit gehen, wenn man Elektricität leiten und chemische Aufregung fortpflanzen für gleichbedeutend ansehen wollte, da einerseits die Metalle, die besten aller Leiter, in diesem Processe der Leitung durchaus nichts von Fortpflanzung chemischer Thätigkeit zeigen, und umgekehrt Körper, welche chemische Aufregung mit grofser Lebhaftigkeit fortpflanzen, wie Phosphor, ein Gemisch von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas u. s. w., zu den Isolatoren gehören. Hier scheint sich nun folgende Erklärung jener merkwürdigen Verschiedenheit in der Stärke der Leitung zwischen Metallen und Flüssigkeiten und der Abstufungen, welche in der letztern Classe selbst wieder statt finden, anzubieten. Die Elemente der zersetzbaren Flüssigkeiten scheinen selbst noch mit elektrischen Atmosphären umgeben zu seyn, und zwar von entgegengesetzter Beschaffenheit, wie die Bestandtheile selbst in einem Gegensatze gegen einander sich befinden. Es läfst sich annehmen, dafs diese Atmosphären um die Elemente durch eine Art von Ver-

1 Schweigger's Journ. 1828. VIII. St. S. 422.

wandtschaft in einem relativen Ruhestande sich befinden und fest gehalten werden. Sofern nun jede elektrische Leitung eine successive, durch unzählige Zonen oder durch eben so viele Schichten der Atome hindurch statt findende Ausgleichung der beiden Elektricitäten ist, so sind es eben jene elektrischen Atmosphären der Elemente, die hierbei in Anspruch genommen werden. Je mehr aber die Bedingungen von der Art sind, dafs die elementaren Stoffe eine neue chemische Verbindung einzugehen können, desto leichter werden sie das elektrische Fluidum, welches diese Atmosphären bildet, fahren lassen, desto rascher werden also durch die Reihen der Atome hindurch die successiven Ausgleichungen und Neutralisationen der Elektricität statt finden. Immer wird aber die Anziehung der Elemente zu ihren elektrischen Atmosphären ein Hindernifs dieser Ausgleichung seyn; und je stärker diese Anziehung ist, eine um so stärkere Intensität der Elektricität ist erforderlich, um dieses Band zu lösen und die Ausgleichung zu Stande zu bringen.

Bei den Metallen verhält sich die Sache ganz anders. Sie sind einfache Körper, deren Atome in einer sehr grofsen Nähe sich befinden und die also mit keinen solchen entgegengesetzten elektrischen Atmosphären umgeben sind. Die Ausgleichung der zu leitenden Elektricität geschieht daher durch Zersetzung blofs des imponderablen 0 E, welches durch keine besondere Verwandtschaft der kleinsten Theilchen festgehalten die successive Zersetzung und Wiederzusammensetzung eben so schnell durch sich fortleiten mufs, wie eine Reihe elastischer Kugeln, die sich berühren, den Stofs, der auf die eine der Endkugeln wirkt, fortpflanzt. Aus dem angeführten Grunde müssen die Metalle um so bessere Leiter seyn, je dichter sie sind, womit auch die Erfahrung übereinstimmt.

Die eigentlichen Isolatoren, insbesondere Schwefel, Phosphor, die Harze und alle ölige Flüssigkeiten, scheinen sich von den Metallen einerseits und von den leitenden Flüssigkeiten andererseits dadurch zu unterscheiden, dafs sie eben so wenig eigentliches 0, als stärkere entgegengesetzte elektrische Atmosphären um ihre Bestandtheile, die bei ihnen mehr homogen sind, wenigstens in keinem solchen Gegensatze, wie bei den leitenden Flüssigkeiten stehen, besitzen, sondern mit gleichartigen elektrischen Atmosphären umgeben sind, die zur Ausglei-

chung der entgegengesetzten Elektricitäten, die in jedem eigentlichen Leitungsprocesse zusammenwirken, nicht hinreichen.

Die entgegengesetzte Wirkung der Wärme auf die vollkommnen Leiter, die Metalle, einerseits und die Halbleiter und Isolatoren andererseits scheint dadurch einigermaſsen begreiflich zu werden. Da nämlich bei den Metallen, wie eben gezeigt wurde, die Leitungsfähigkeit eine Function ihrer Dichtigkeit ist und aus dem angeführten Grunde mit derselben im Verhältnisse steht, so muſs diese Leitungsfähigkeit abnehmen, so wie die Cohäsion und Dichtigkeit der Metalle durch Erwärmung vermindert wird. Dagegen wird bei den andern Körpern durch die Wärme die Anziehung der Theilchen derselben gegen ihre elektrischen Atmosphären selbst vermindert, indem die Atome auch eine Tendenz haben, sich mit der Wärme zu verbinden, womit dann auch die Disposition jener Atmosphären, sich mit den zu leitenden Elektricitäten auszugleichen, befördert wird. Daſs die Ausdehnung der Körper in die Länge die Fortleitung der Elektricität ohne Unterschied der Classen bei vollkommnen Leitern und Halbleitern gleichmäſsig retardirt, davon ist bei den letztern der Grund durch die einfache Summirung der Widerstände, welche die Anziehung der elektrischen Atmosphären zu den Bestandtheilen der Körper entgegensetzt, einleuchtend; bei den vollkommnen Leitern muſs ein Widerstand angenommen werden, welchen die materiellen Theilchen selbst den elektrischen Flüssigkeiten in ihrer Fortbewegung zum Behuf ihrer Ausgleichung mit ihren Gegensätzen entgegenstellen. Einfacher fallen allerdings diese Erklärungen im Sinne der Franklin'schen Theorie aus. Der Unterschied zwischen den vollkommnen und unvollkommnen Leitern würde darin zu suchen seyn, daſs in jenen das elektrische Fluidum in den meisten Fällen keine Gelegenheit hätte, sich mit den kleinsten Theilchen der Körper selbst zu verbinden, und nur durch die Repulsivkraft seiner eignen Theilchen sollicitirt in dem Verhältnisse mehr an der Oberfläche derselben seinen Weg ungehindert und ohne Widerstand verfolgte, in welchem seine Intensität, d. h. seine Repulsivkraft, von welcher vorzüglich seine Bewegung abhängt, mehr gesteigert ist, während dasselbe bei seiner Durchbewegung durch die zersetzbaren Flüssigkeiten eben wegen der Zersetzbarkeit derselben und der Anziehung eines der Bestandtheile derselben zum elektrischen Fluidum eine wirkliche Verbindung einginge

und eben dadurch in seiner Fortbewegung durch die Trägheit dieser Theilchen retardirt würde. Nur bei höherer Intensität der Elektricität würde ein wirklicher Durchbruch derselben durch die Flüssigkeiten und eine schnellere Fortbewegung in Gestalt eines Funkens erfolgen. Die sehr langsame Fortbewegung an den Isolatoren müfste diese Theorie einer Adhäsionsverwandtschaft zu den Theilchen derselben zuschreiben. Von der Beförderung der Leitung in den Halbleitern und Isolatoren durch die Erwärmung würde diese Theorie dadurch Rechenschaft geben, dafs in jenen durch die Verminderung der chemischen Anziehung der Bestandtheile zu einander die Anziehung eines derselben zur Elektricität begünstigt, in diesen durch die stärkere Wärmeatmosphäre die Adhäsionsverwandtschaft beschränkt werde, während bei den Metallen vielmehr durch die Erkältung die Dichtigkeit noch mehr vermehrt und die Elektricität dadurch mehr gezwungen würde, ihren Weg an der Oberfläche zu nehmen, wo sie am wenigsten Widerstand findet. Dafs keine andere Art des Wechselverhältnisses der Elektricität und der Wärme statt finde, etwa dafs beide Kräfte wechselseitig repulsiv auf einander wirkten und dadurch z. B. die Expansibilität der Elektricität und damit auch ihre wirkliche Fortleitung durch Expansion begünstigt würde, hat Erman[1] durch eine Reihe genauer Versuche dargethan. *P.*

L i c h t.

Lux; la Lumière; *Light.*

Das Licht bewirkt die Erleuchtung der Körper, es macht sie fähig, auf unser Auge den Eindruck hervorzubringen, welcher sich uns im Sehen offenbart; wo kein Licht ist, da ist Finsternifs und die Gegenstände sind dem Auge unsichtbar. Wir unterscheiden selbstleuchtende Körper, welche die Quelle des Lichtes in sich selbst haben, und erleuchtete Körper, welche, an sich dunkel, das Licht, das sie von jenen empfangen, nur wieder zurückgeben und dadurch erleuchtet erscheinen. In beiden Fällen sagen wir, es gehe Licht von jenen Körpern aus und der Körper werde gesehen, wenn dieses von ihm ausgegangene

1 Berliner Abhandl. vom Jahre 1814—1815. S. 123.

Licht unser Auge trifft und in demselben die Einwirkung auf unser Bewufstseyn hervorbringt, wodurch wir die Körper nach Gröfse und Gestalt, Glanz, Farbe u. s. w. unterscheiden. Aber indem wir so das Licht als von den Körpern zu uns oder andern Körpern gelangend betrachten, lassen wir es noch völlig unentschieden, ob dabei ein materieller Stoff, eine Lichtmaterie, von den Körpern ausfliefsend, zu andern Körpern und zu unserem Auge gelange, ob der Lichtstrahl (*radius lucis;* rayon de lumière; *ray of light*), worunter wir die von einem Puncte ausgehende und sich in gerader oder gebrochener Linie fortpflanzende Einwirkung des Lichtes verstehen, aus Theilchen bestehe, die den lichtgebenden Körper verlassen, um zu andern hinüber zu gehen, oder ob ohne einen solchen Strom fortbewegter Körperchen die Wirkungen der Erleuchtung sich auf andere Weise, etwa in einem alle Körper umgebenden Mittel, fortpflanzen. Da wir indefs von Schallstrahlen, welche sich von dem schallerregenden Körper nach allen Seiten ausbreiten, zu sprechen gewohnt sind, obgleich wir dabei mit Gewifsheit wissen, dafs es keine Schallmaterie giebt, die in diesen Schallstrahlen fortströmt, so wird es uns noch mehr erlaubt seyn, von dem Fortgange der Lichtstrahlen, von dem Wege, den sie verfolgen, von ihrer Geschwindigkeit zu reden, indem es hier nicht so entschieden ist, ob ein Ausströmen von materiellen Theilchen statt finde oder nicht.

Um nun die Erscheinungen, welche das Licht darbietet, und die Theorien, wodurch man sie zu erklären gesucht hat, geordnet durchzugehen, werde ich zuerst von der ursprünglichen Entstehung des Lichtes, dann von der Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Lichtes und von den Gesetzen des ungestörten und des durch Zurückwerfung oder Brechung geänderten Fortganges des Lichtes, so wie von der Beugung des Lichtes u. s. w., von der Zerlegung des Lichtstrahles in Farbenstrahlen, von der Polarisation des Lichtes und den unter gewissen Umständen eintretenden Interferenzen reden, die chemischen Wirkungen des Lichtes werden darauf folgen und endlich die verschiedenen Theorieen über die Natur des Lichtes den Beschlufs machen. Ich werde bei der Darstellung der Erscheinungen kein Bedenken tragen, von Lichttheilchen da zu reden, wo die Vorstellung, als ob es fortbewegte Körperchen wären, zur deutlichern Auffassung beiträgt, indem es den späteren theoretischen Betrach-

tungen vorbehalten bleibt, die Bedenklichkeiten, die einer solchen Ansicht entgegenstehen, bemerklich zu machen und zugleich zu zeigen, wie wenig noch alle unsere Theorieen über die Natur des Lichtes den Anforderungen Genüge leisten, welche wir an eine völlig begründete Theorie machen.

I. Ursprung der Lichtphänomene.

1. Das Licht der Himmelskörper.

Die wichtigste Quelle des Lichtes ist für die Erdbewohner die Sonne. Daſs auf ihrer Oberfläche das Licht nicht durch ein solches Verbrennen entstehen könne, wie wir es auf der Erde kennen, ist schon daraus klar, weil wir uns ein solches Verbrennen nicht ohne Zerstörung des brennenden Körpers denken können und eine Zerstörung oder gänzliche Umwandelung der materiellen Theilchen der Sonne wohl nicht anzunehmen ist. Ob das Licht der Sonne mit dem bloſsen Glühen fester Körper Aehnlichkeit habe, lieſse sich durch die eben erwähnten Ueberlegungen nicht entscheiden; aber hier ergiebt die Beobachtung einen Unterschied zwischen dem Lichte glühender fester Körper und dem der Sonne, indem jenes sich immer als zum Theil polarisirt zeigt, was bei dem Lichte der Sonne nicht der Fall ist. In dieser Beziehung ist das Licht der Sonne dem Lichte glühender Gasarten ähnlich, die ebenso keine Polarisation zeigen [1], und W. Herschel's Meinung, daſs eine leuchtende Atmosphäre die Sonne umgebe, stände hiermit in Uebereinstimmung. Indeſs ist die Ueberzeugung, daſs wir das Licht der Sonne so ansehen dürfen, nicht so fest begründet, daſs man sie als sicher ansehen dürfte, da die Wechsel auf der Oberfläche der Sonne, welche sich uns in den Sonnenflecken zeigen, noch gar nicht erklärt sind und eine richtige Erklärung des Leuchtens der Sonne doch auch wohl zur Erklärung dieser Unterbrechung jener Lichterzeugung führen müſste. Capocci leitet aus seinen Beobachtungen Zweifel gegen W. Herschel's Ansicht her und will lieber annehmen, daſs die Sonne aus einer harten, leuchtenden Kruste bestehe, welche Spalten hat, die mit einer elastischen leuchten-

1 Ann. de Chim. et Phys. 1824. Sept.

den Materie ausgefüllt sind[1]. Ebenso unentschieden, als der eigentliche Ursprung des Sonnenlichtes, ist auch die Frage, wie die Erwärmung der Erde von diesem Lichte bewirkt werde, ob die Ungleichheit unserer Witterung von Aenderungen in der Menge oder Beschaffenheit des Sonnenlichtes abhänge u. s. w. Da wir in der Folge sehen werden, daſs es weiſses und farbiges Licht giebt, so verdient bemerkt zu werden, daſs in dem Sonnenlichte alle Arten des farbigen Lichtes so vereinigt sind, wie es zur Hervorbringung des weiſsen Lichtes nöthig ist, und daſs die einer ungleichen Brechbarkeit fähigen Lichtstrahlen im Sonnenlichte so vorkommen, daſs man nur sehr kleine, wenn gleich zahlreiche Unterbrechungen in dem stetigen Fortgange der ungleichen Brechbarkeit wahrnimmt[2].

Daſs das Licht der Fixsterne mit dem der Sonne von einerlei Art sey, dürfen wir wohl vermuthen, indeſs sind die Fixsterne an Farbe ungleich. Die röthern Sterne, wie Beteigeuze, sind bekannt, aber auch Sterne von bläulichem, violettem, grünlichem, granatfarbenem Lichte führt Herschel an[3]. Bei dieser Verschiedenheit der Farben ist es wohl zu erwarten, daſs sich die von Fraunhofer im prismatischen Farbenbilde beobachteten dunkeln Linien bei verschiedenen Sternen ungleich zeigen werden; denn wenn zum Beispiel das Licht eines Sternes ohne alle gelbe Strahlen wäre, so würde zwischen den wenig gebrochenen rothen und den stark gebrochenen grünen und blauen Strahlen eine gänzlich unausgefüllte Lücke übrig bleiben und dagegen würden diejenigen Theile des Spectrums vorzüglich hell erscheinen, die der am meisten vorwaltenden Art von Farbenstrahlen entsprechen. Fraunhofer glaubte eine solche Verschiedenheit wahrzunehmen, sagt aber nicht, daſs er eine bestimmte Uebereinstimmung mit der Farbe der Sterne bemerkt habe[4].

Daſs wir über den Ursprung dieser Verschiedenheit des Lichtes der Fixsterne gar nichts wissen, läſst sich leicht erachten.

---

1 Schumacher's astron. Nachr. V. 293.

2 Die dunkeln Linien im Farbenspectrum sind im Artikel *Farbe*, Th. IV. S. 76., erwähnt.

3 On the parallaxe of fixed stars. Ph. Tr. 1782. p. 113.

4 Schumacher's astr. Abhandl. 2. Heft. S. 43. Gruithuisen's Analecten. I. S. 69.

Aber dieser Ungleichheit ungeachtet scheint die Schnelligkeit der Fortpflanzung des Lichtes bei allen Sternen gleich zu seyn, wenigstens haben die Beobachter der Aberration nie eine Ungleichheit bemerkt, und die etwa statt findende Ungleichheit in der Geschwindigkeit des Lichtes muſs folglich weniger betragen, als die Beobachtung bei einer ohnehin kleinen Gröſse wahrzunehmen erlaubt[1].

Noch eine sonderbare Verschiedenheit in dem Lichte der Fixsterne hat Forster angegeben[2]. Wenn ein Fernrohr, dessen Ocular so weit hineingeschoben ist, daſs die Strahlen vor ihrer Vereinigung im Focus zum Auge kommen, um seine Axe schnell gedreht wird und die das Objectiv treffenden Strahlen durch ein Prisma gegangen sind, welches mit dem Fernrohre verbunden ist, so sieht man bei einigen Fixsternen den so entstehenden Lichtkreis als einfarbig, blauroth oder gelb, bei andern dagegen ist er in Regenbogenfarben getheilt, die zuweilen durch dunkle oder weiſse Querstreifen unterbrochen sind. Bei den Planeten ist dieser Lichtkreis immer weiſs. Forster hat die Erscheinung für einige Sterne genauer angegeben.

Von den Untersuchungen über die Frage, ob die Kometen mit eigenem Lichte leuchten, ist im Artikel *Komet* gehandelt worden. Unter den selbstleuchtenden Himmelskörpern bleiben also nur noch die eigentlichen Nebelflecke, deren Natur wir fast gar nicht kennen, zu erwähnen übrig[3].

Daſs der Mond und die Planeten nur durch Erleuchtung sichtbar werden, indem sie Licht von der Sonne empfangen, ist die allgemein angenommene Meinung, die auch durch Leslie's Bemerkungen wohl nicht widerlegt wird. Leslie nämlich glaubt[4], der Mond sende uns weit mehr Licht zu, als es nach der Analogie anderer erleuchteter Körper der Fall seyn könne, und man müsse daher annehmen, daſs die Sonnenstrahlen eine eigene Phosphorescenz des Mondes hervorriefen, die sich auch

1 Struve observ. astron. Vol. II. p. 182. 213.

2 Ich kann mich hier nur auf den sehr dürftigen Auszug in Kastner's Archiv V. 428. beziehen, da ich den Originalaufsatz (wenn ich nicht irre, in dem Philos. Magazin) nicht auffinden kann.

3 S. Art. *Nebelflecke*.

4 Edinb. philos. Journ. by Brewster and Jameson. Nr. XXII. p. 393. und Schweigger's Journ. XLIII. 190.

in dem aschfarbigen Lichte des von der Sonne nicht erhellten Mondes zeige. Diese Bemerkungen von Leslie scheinen mir aber auf einer unrichtigen Berechnung des bei der gewöhnlichen Erleuchtung sichtbar werdenden zurückgeworfenen Lichtes zu beruhen [1]; denn da nach Lambert's Versuchen [2] weiſse Körper doch $\frac{2}{5}$ des empfangenen Lichtes zurückwerfen, so ist es wenigstens nicht unmöglich, daſs der Mond $\frac{1}{4}$ des empfangenen Lichtes zurückwerfe, wenn er auch nicht aus lauter Körpern von vollkommener Weiſse besteht. Obgleich aber hierdurch die Nothwendigkeit, eine Phosphorescenz des Mondes anzunehmen, widerlegt wird, so ist damit nicht erwiesen, daſs eine solche gar nicht statt finde; in Vergleichung gegen die Gesammtheit der irdischen Körper ist allerdings die Menge des vom Monde reflectirten Lichtes ziemlich groſs und uns bleibt also die doppelte Vermuthung freigestellt, daſs entweder der Mond viel mehr weiſse Körper und vielleicht von reinerem Weiſs, als die Erde, enthalte, oder daſs ein phosphorisches Licht sich mit dem reflectirten verbinde. Daſs einzelne Berge des Mondes ein ausgezeichnet helles Licht zeigen, namentlich Proclus und Aristarch, ist den Beobachtern allezeit auffallend gewesen und ihnen könnte man am ersten ein eigenes Licht beilegen. Doch hiervon und von den in seltenen Fällen in der Nachtseite hervorglänzenden Puncten der Mondfläche kommt im Artikel *Mond* etwas mehr vor; hierher gehört nur noch die Bemerkung, daſs die zahlreichen phosphorescirenden Körper auf der Erde die Vorstellung, daſs es auch auf dem Monde phosphorescirende Körper geben könne, begünstigen.

Die Planeten zeigen uns nach Verhältniſs des von der Sonne empfangenen Lichtes ein ungleiches Licht und scheinen im Allgemeinen desto fähiger, das Licht zu reflectiren, je weiter sie von der Sonne entfernt sind [3], so daſs die Vermuthung einer Phosphorescenz am meisten bei den entfernteren statt finden könnte. Rücksichtlich der Streifen des Farbenbildes fand Fraun-

1 Er glaubt nämlich, selbst weiſses Papier gebe nur $\frac{1}{10}$ der empfangenen Strahlen zurück, aber dieses scheint mir ein Irrthum zu seyn.

2 Vergl. Art. *Erleuchtung*. Bd. III. S. 1153.

3 Einige diesen Gegenstand betreffende Vergleichungen habe ich in den Vorlesungen über die Astronomie Th. II. S. 88. mitgetheilt.

HOFER' die Venus der Sonne ähnlich, obgleich, wie leicht erhellt, nur die auffallendsten hellen und dunkeln Linien hier sichtbar seyn können.

2. Lichtentwickelung durch Glühen.

Es ist bekannt, dafs zahlreiche Körper, die bei grofser Hitze unzerstört bleiben, doch bei dieser Hitze glühend werden. Wenn die Erhitzung allmälig zunimmt, so fängt dieses Leuchtendwerden zuerst mit einem matten rothen Lichte an, das nur im Dunkeln sichtbar ist, nach und nach wird das Rothglühen auch im Tageslichte sichtbar, bei verstärkter Hitze geht es immer mehr in das Weifsglühen über, oder der zuerst rothe Glanz wird nicht allein lebhafter, sondern nimmt auch eine stets mehr dem weifsen Lichte nahe kommende Farbe an. Man nimmt an, dafs Eisen bei 335° der Centes. Scale anfängt, im Dunkeln zu leuchten, und dafs es gegen 540 Grad heifs seyn mufs, um im Tageslichte zu leuchten [1]. Diese weiten Grenzen, in welchen das Glühen des Eisens anfängt und sich verstärkt, zeigen schon, dafs man nicht wohl von einer bestimmten Glühhitze reden kann und dafs auch die Behauptung, dafs alle feste Körper, die des Glühens fähig sind, eine gleiche Hitze zum Glühen fordern, wohl nicht so strenge zu nehmen ist. Metalle, die bei einem niedrigern Hitzegrade schmelzen, kommen erst zum Glühen, wenn sie schon flüssig sind. Das Glühen dauert auch in andern Luftarten fort [2].

HEINRICH beschreibt einen Versuch, wo Kupfer und Eisen in Röhren, die blofs kohlensaures Gas enthielten, glühend wurden; ferner einen Versuch, wo Eisendraht, in geschmolzenes Glas eingetaucht, noch glühend blieb, als das Glas schon erhärtet war, wo Eisenschlacke unter Wasser noch glühte. Indefs kann bei den Metallen, die in der Glühhitze eine Oxydation erleiden, die Lichterzeugung in der atmosphärischen Luft und im

---

1 NEWTON schätzte diese letztere Hitze nach den Abkühlungszeiten. Nach seiner Bestimmung wäre sie 538° Cent. Nach DAVY kann man die Temperatur, bei welcher Glas leuchtend wird, = 557° Cent. setzen. G. LVI. 163. Schweigg. Journ. VIII. 84.

2 HEINRICH über die Phosphorescenz. S. 247. BERTHOLLET essay de statique chim. I. 258.

Sauerstoffgas stark vermehrt werden, ja in ein wahres Verbrennen übergehen, weil dieses Gas alsdann mit Lebhaftigkeit zersetzt wird und dabei mit der Hitze auch das Licht sich in hohem Grade verstärkt.

Da das Eisen zuerst roth glüht und nachher im Weifs alle Lichtarten entwickelt, so hat man daran die Meinung geknüpft, dafs im Allgemeinen bei minderer Hitze der blofs glühenden Körper zuerst die weniger brechbaren Farbenstrahlen im Glühen sichtbar werden, und Heinrich führt in seiner Schrift über die Phosphorescenz S. 226. Erfahrungen hierfür an, z. B. dafs vorzüglich Flufsspath, der beim Erhitzen nach einander verschiedene Farben zeigt, das gelbe Licht eher als das grüne, dieses eher als das blaue und violette bei steigender Wärme zu zeigen pflegt.

Als blofs dem Glühen angehörend mufs man wohl das sehr starke Licht ansehen, welches der in einer durch Sauerstoffgas angefachten Alkoholflamme erhitzte Kalk zeigt. Nach Drummond's Angaben ist das Licht, welches man durch Kalk erhält, 37mal, ja unter den günstigsten Umständen 83mal so hell, als das einer Argand'schen Lampe; Magnesia bewirkt ein nicht so starkes Licht. Um dieses lebhafte Licht zu erhalten, bedient Drummond sich eines Apparates, der auf folgende Weise eingerichtet ist. Der Weingeist, der sich in den Röhren t, t, t hinaufzieht, erhält bei a seinen Zuflufs; das Sauerstoffgas dagegen wird bei d in das Gefäfs h geführt und findet durch die Röhren t′, t′, t′ seinen Ausflufs, um sich oben am Ende der Röhren in die Flamme zu ergiefsen. Diese Röhren sind durch biegsame Caoutchoucröhren[1] e f mit dem Gasbehälter h verbunden und lassen sich, weil diese biegsamen Röhren nachgeben, bei C so verschieben, dafs sie die passendste Stellung erhalten. Die Kalkkugel bei d wird nun der Flamme ausgesetzt und die Stellschrauben am Fufsgestelle bei r, r, r dienen, um sie genau in den Brennpunct eines Reflectors zu bringen, damit ihr Licht, von diesem zurückgeworfen, in weiten Entfernungen sichtbar sey[2].

Fig. 29.

1 Vergl. Faraday chemical manipulation. §. 416.

2 Poggend. Ann. VII. 120. IX. 170.

3. Lichtentwickelung beim Verbrennen und bei andern chemischen Einwirkungen.

Da die Theorie des Verbrennens, die Angabe der chemischen Zersetzungen und Verbindungen, welche dabei vorgehen, die Frage, in welcher Beziehung das ganze Phänomen zu dem elektrischen Verhältnisse der Körper steht, in einem eignen Artikel abgehandelt werden wird, so beschränke ich mich hier blofs auf die Lichterscheinungen, die damit verbunden sind.

Das Verbrennen in atmosphärischer Luft oder in Sauerstoffgas geschieht auf eine verschiedene Weise, indem entweder das Glühen blofs angefacht und lebhafter wird, oder eine Flamme hervorbricht. Bei Kohlen und bei allen Substanzen, die kein Hydrogengas entwickeln oder überhaupt keine sich in elastischer Form entwickelnde brennbare Materie hergeben, entsteht beim Zutritte der Luft eine Zersetzung des Sauerstoffgases und damit verbunden allemal eine verstärkte Wärme und ein lebhafteres Licht, es mag nun, wie beim Brennen der Kohle, der ponderable Bestandtheil des Sauerstoffgases sich mit dem Kohlenstoffe zu Kohlensäure vereinigen, oder, wie beim Glühen des Eisens und anderer Metalle, der Sauerstoff sich mit den Theilen des Metalles zu einem Oxyde verbinden. Der Luftzug hat in diesen Fällen eine zweifache Einwirkung auf den Glanz des Glühens, indem er, sofern er kalte Luft zuführt, den glühenden Körper etwas abkühlt und die Lichterscheinung des Glühens dadurch vermindert, ja bei geringen Massen des glühenden Körpers ihn bis unter die Glühhitze abkühlen und sein Glühen zerstören kann, dagegen aber, wenn die Hitze hinreichend bleibt, das Glühen dadurch vermehrt, dafs die zersetzte Luft eine neue Quelle entwickelter Wärme darbietet; ob das eine oder andere eintreten wird, hängt davon ab, welche Einwirkung die überwiegende ist. Und so wie hier die Zersetzung des Sauerstoffgases das Glühen unterhält, so geschieht es auch bei Davy's Glühlämpchen, wo der verbrennende Alkoholdampf Wärme genug hergiebt, um den feinen Platindraht glühend zu erhalten. Dafs man diesen aber durch jeden kalten Luftzug bis zu einer das Glühen nicht mehr gestattenden Temperatur abkühlen und dadurch das Lämpchen

auslöschen kann, ist bekannt[1]. Das Verbrennen mit Flamme geschieht bei den Körpern, deren wir uns als Brennmaterial oder, um durch Kerzenlicht und Lampenlicht Erleuchtung hervorzubringen, bedienen, auf die Art, daſs bei einer hervorgebrachten hinreichenden Hitze sich die brennbaren Stoffe in elastischer Form entbinden und in Glut gesetzt die Flamme darbieten, wobei sie selbst zersetzt werden, indem das Wasserstoffgas mit dem Sauerstoff verbunden Wasserdampf, der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff verbunden Kohlensäure giebt u. s. w. Obgleich die in dem Dochte unserer Lichter oder Lampen hinaufgezogenen und in der groſsen Hitze der Flamme in eine elastische Form übergehenden Substanzen den ganzen Raum der Flamme füllen, so zeigt sich uns die Flamme doch nur als an ihrer Oberfläche glänzend, weil nur da das Verbrennen durch einen hinreichenden Zufluſs von Sauerstoffgas vollkommen unterstützt wird. Aus diesem Grunde ist die Flamme in allen ihren Theilen durchsichtig, weil sie nur mit einem sehr dünnen glänzenden Mantel umgeben ist, und man kann sich davon, daſs sie im Innern nicht einen durchaus mit Glut erfüllten Raum darbietet, überzeugen, wenn man ihre Spitze durch ein darüber gehaltenes enges Drahtgewebe hindert, sich zu bilden, dann sieht man einen nur auſsen mit einer glänzenden Oberfläche umgebenen, inwendig Ruſs absetzenden hohlen Kegel. Die Flamme hat die Gestalt eines Kegels, weil die sich um die Mitte der Flamme entwickelnden elastischen Flüssigkeiten von dem an allen Seiten herandrängenden und aufwärts gehenden Strome atmosphärischer Luft mit hinaufgeführt werden. Da, wo der verbrennliche Körper am Dochte der Flamme sich verflüchtigt, giebt er noch kein helles Licht; dieses geschieht erst da, wo er wirklich verbrennt, oder, wie Davy es angiebt, wo die Mischung mit atmosphärischer Luft den erhitzten Dampf explosiv macht. An der Spitze ist nicht Sauerstoffgas genug mehr vorhanden, um noch die Verbrennung mit gleicher Stärke zu unterstützen, daher sind dort Licht und Wärme geringer. Bildet sich im Innern der Flamme eine Schnuppe, so erkältet diese die Flamme durch Ausstrahlung und hindert, daſs die Zersetzungen nicht mit genug Lebhaftigkeit fortgehen, weshalb dann der sich ausscheidende Kohlenstoff nur zum Glühen, nicht zum Verbrennen kommt. Es

---

1 Vergl. Art. *Lampe*.

erhellt hieraus leicht, warum die Lichtentwickelung so sehr vermehrt wird, wenn ein Luftstrom durch die Mitte der Flamme geht [1].

Die Flamme entsteht erst bei bestimmter Hitze, die aber bei jedem Körper eine andere ist. Der Schwefel bedarf einer sehr geringen Hitze, um zu verbrennen, indem er fast schon bei der Hitze des kochenden Wassers fliefsend wird und bei etwas gröfserer Hitze sich entzündet. Der Phosphor entzündet sich noch bei weit weniger Wärme. Andere Körper bedürfen gröfsere Hitze und werden daher ausgelöscht, wenn ein kalter Luftzug ihnen die erforderliche Hitze raubt. Ist eine Lichtflamme noch so schwach, dafs sie die Zersetzungen nur höchst langsam hervorbringt, so ist der Wärmeverlust an die umgebende Luft gröfser, als die Wärmeerzeugung durch die Zersetzung, und die Flamme mufs aus Mangel an hinreichender Wärme erlöschen. In Luftmischungen, die wenig Sauerstoffgas enthalten, mufs dieses eher eintreten, und daher brennt eine kleine Flamme nicht mehr fort, wenn eine gröfsere auch in derselben Mischung noch nicht erlöscht; daher kann man eine kleine Flamme brennend erhalten, wenn ein in ihr zum Glühen gebrachter Metalldraht die nöthige Hitze länger unterhält, als die schwächer werdende Flamme es für sich allein vermöchte.

Die Flamme erhält ihren Glanz und ihre Dichtigkeit vorzüglich durch die in ihr zum Glühen kommenden Theilchen fester Materien. Davy giebt einige Versuche an, die ihm zuerst als Beweise hierfür dienten, die er mit brennendem Steinkohlengas anstellte. Das aus den Steinkohlen entwickelte Gas giebt entzündet eine vorzüglich helle Flamme, und indem man das enge, feine Drahtgewebe, dessen Davy sich zu seiner Sicherheitslampe bedient, in verschiedene Gegenden der Flamme hält, kann man sich überzeugen, dafs sie da am meisten Kohlenstoff enthält, wo sie im freien Brennen am glänzendsten ist. Bringt man dieses Drahtgewebe in die Spitze der Flamme, so setzt sich kein Kohlenstoff an demselben ab, weil er schon verbrannt ist; tiefer herab in die Flamme gehalten legt er sich reichlich an, weil die Abkühlung an dem Drahtgewebe ihm nun nicht erlaubt, in der Flamme zu verbrennen; in dem unteren Theile der Flamme, wo sie noch blau brennt, setzt er sich

---

1 Vergl. Art. *Lampe*.

wieder nicht ab. In jeder Lichtflamme kann man dieselbe Erfahrung machen. Wenn man eine vertical gehaltene dünne Metallplatte in die Lichtflamme bringt, so belegt sie sich nur da mit Rufs, wo der glänzende äufsere Mantel der Flamme sie berührt hat. An der Spitze der innern blauen Flamme ist auch bei andern verbrennenden Körpern die Hitze am gröfsten und hier ist, bemerkt Davy, der Punct, wo aller Kohlenstoff in seinen gasartigen Verbindungen verbrennt. Aus eben dem Grunde geben diejenigen Flammen, die ganz aus gasartigen Theilen bestehen, ein schwaches Licht, zum Beispiel das selbst in Sauerstoff brennende Hydrogengas; die Flammen hingegen, in welchen sich dichtere Materien erzeugen, geben helle Flammen, z. B. Phosphor in Sauerstoffgas brennend, wo sich Phosphorsäure erzeugt. Die Farben der Flammen entstehen vermuthlich daher, dafs ein in die Flammen gebrachter Körper verbrennliche Materien hergiebt, welche glühen und mit verbrennen. Alkohol mit salzsaurem Strontian geschwängert giebt ein rothes Licht, Boraxsäure in Alkohol giebt eine grüne Flamme, vermuthlich deswegen, weil die Basen dieser Verbindungen auf kurze Zeit in der Flamme dargestellt werden [1].

Die Beobachtung, auf welche Rumford aufmerksam gemacht hat, dafs mehrere dicht an einander brennende Flammen mehr Licht geben, als sie von einander getrennt geben würden, mag wohl darin ihren Grund haben, dafs ihre vereinte Wärme die Theile völlig zerstört, die sonst unzerstört verfliegen würden. Wenigstens ist dieses wohl sicher der Grund, warum zwei freie, durch keinen künstlichen Luftzug verstärkte Lichtflammen sich bedeutend verlängern, wenn sie ganz nahe an einander brennen.

Dafs diese Flammenerscheinungen im reinen Sauerstoffgas mit dem gröfsten Glanze vorgehen müssen, läfst sich aus dem Vorigen leicht übersehen. Eine dünne Stahlfeder, die man an einem Korke, um sie bequem in eine Flasche mit Sauerstoffgas hineinzubringen, befestigt, wird am untern Ende mit einem Stückchen Zündschwamm versehn, welches man anzündet und

1 G. LV. 11. LVI. 142. Ann. of Philos. 1825. Decbr. p. 447. Hierher gehört vorzüglich alles das, was im Artikel *Gasbeleuchtung* über die ungleiche Leuchtkraft der verschiedenen Gasarten gesagt ist. Bd. IV. S. 1112. Kastner's Archiv. VI. 1. 67.

dann mit der Feder in die mit Sauerstoffgas gefüllte Flasche taucht; hier entsteht durch die Zersetzung des Sauerstoffgases eine Hitze, die hinreichend ist, selbst den Stahl zum lebhaften Verbrennen zu bringen, mit einem Lichte, welches das Auge kaum zu ertragen vermag. Das Leuchten des Phosphors gehört hierher, doch komme ich auf diesen noch in der Folge zurück.

Dieses Verbrennen unter Einwirkung des Sauerstoffgases ist indefs nicht das einzige Lichtphänomen, das durch lebhaften Fortgang chemischer Zersetzung hervorgeht. Deimann, von Troostwyk und Nieuweland fanden beim Zusammenschmelzen des Schwefels mit Kupfer und andern Metallen ein Entstehen lebhaften Lichtes ohne Zutritt des Sauerstoffes. Diese zu jener Zeit vieles Aufsehen erregende Erscheinung fand statt, es mochte die Erhitzung in Wasserstoffgas, in kohlensaurem Gas, im luftleeren Raume oder unter Wasser oder Quecksilber statt finden [1].

Berzelius fand, dafs Kupferblech, mit Schwefel in eine Retorte gebracht, sich schon, ehe das Glühen eintritt, mit dem lebhaftesten Lichte entzündet und dafs Kieselmetall, welches im Oxygen unverbrennlich ist, sich im Schwefeldampfe entzündet [2].

Nachher hat man mehrere Erscheinungen kennen gelernt, wo bei chemischen Verbindungen Licht hervorgeht. Vorzüglich sind Chlor und Iod noch mehr als Schwefel und Phosphor geneigt, bei ihren Verbindungen eine Entwickelung von Licht zu geben [3].

Die Lichtentwickelung, wenn concentrirte Säuren sich mit wasserfreien Basen verbinden, das lebhafte Verbrennen, wenn gewisse Oele mit Schwefelsäure und Salpetersäure gemischt werden, gehören auch hierher [4]. Ebenso die Lichterscheinung, wenn salzsaures Gas mit Baryt erhitzt wird [5]. Aehnliche Erscheinungen des lebhaften Verbrennens giebt das Cyaneisen, das

---

1 Gren's Journ. VIII. 19.

2 Schweigg. Journ. XLI. 493.

3 Ebend. XX. 353. IX. 297. VII. 75.

4 Ein Beispiel der letztern Art giebt eine Mischung von rauchender Salpetersäure mit einer gleichen Menge Schwefelsäure gemischt, wenn man diese plötzlich in Terpentinöl giefst.

5 G. XLIX. 313.

Berliner Blau u. a. mit Blausäure verbundene Substanzen. Berzelius setzt die letzteren Erscheinungen mit denen in eine Classe, die man an einigen antimonsauren Metallsalzen, an der Zirconerde, dem Chromoxyd und einigen andern Körpern beobachtet hatte, und sucht die Erklärung in einer innigern Verbindung der Grundstoffe, die unter gewissen Umständen eintritt, z. B. in einigen Fällen werde die schon vorher mit dem Eisen verbundene Kohle inniger mit demselben verbunden, in andern Fällen, wo einiger Sauerstoff entbunden worden ist, gehe das Radical mit dem noch übrigen Sauerstoffe eine innigere Verbindung ein [1].

Es scheint mir hier nicht der Ort zu seyn, umständlich die Beziehung darzustellen, in welcher alle diese die chemischen Verbindungen begleitenden lebhaften Lichterscheinungen mit der elektrochemischen Theorie stehen, da diese Theorie an einem andern Orte umständlich erläutert wird [2]. Dafs eine mit grofser Gewalt vorgehende chemische Verbindung diese Feuererscheinungen zu bewirken pflegt und dafs diese grofse Gewalt von der Stelle abhängt, welche die in Verbindung tretenden Körper in der elektrischen Reihenfolge einnehmen, ist wohl alles, was ich hier bemerken darf.

Auch die von Döbereiner zuerst bemerkte Einwirkung des gehörig präparirten Platinschwammes auf das Wasserstoffgas, wodurch unter Zutritt des Sauerstoffgases jener glühend wird, scheint hierher gerechnet werden zu müssen [3]. Andere Metalle haben ähnliche Wirkungen gezeigt, obgleich nicht so lebhaft und nicht ohne Unterstützung durch äufsere Wärme [4].

Aufser diesen lebhaften Feuererscheinungen mufs ich hier nun auch noch die Entwickelungen schwächern Lichtes erwähnen, die sich oft bei chemischen Mischungen zeigen. Heinrich hat in der letzten Abtheilung seines Buches über die Phosphorescenz der Körper viel hierher Gehöriges gesammelt und ich will theils dorther, theils aus andern Beobachtungen hier einige Fälle eines mattern Leuchtens anführen. Aetzendes Kali und Natron,

---

1 Berzelius Lehrb. der Chemie. III. 68. Schweigg. Journ. XXX. 30. 48. 49. 50. 54. VII. 514. VI. 169. G. LXXIV. 275.

2 Art. *Verwandtschaft.*

3 G. LXXIV. 270. LXXVI. 81. Poggend. Ann. II. 101. G. G. Schmidt's Lehrb. d. Naturlehre. S. 353.

4 Vergl. Magnus Bemerkung in Poggend. Ann. III. 86.

mit starken Säuren verbunden, giebt im Dunkeln ein Leuchten; die Schwefelsäure zeigt sich dabei am wirksamsten und man erhält am sichersten die Erscheinungen des Leuchtens, wenn man Tropfen der Säure auf das ätzende Laugensalz fallen läfst [1]. Frisch gebrannter Kalk, aber auch an der Luft nach dem Brennen schon zerfallener Kalk zeigt ein erhebliches Licht, wenn man Säuren darauf giefst, bei Schwefelsäuren reichte ein Tropfen zu; eine gröfsere Menge schon längere Zeit der Luft ausgesetzten gebrannten Kalkes gab mit Schwefelsäure ein anhaltendes Licht. Kaustischer Baryt und geglühte Bittererde verhalten sich auf ähnliche Weise. Frisch gebrannter Kalk giebt beim langsamen Zugiefsen von Wasser Licht und ätzender Baryt ist in Rücksicht dieser Erscheinung noch vorzüglicher. Rothes Quecksilberoxyd giebt mit Schwefelsäure einen im Dunkeln sichtbaren Dampf; salpetersaures Quecksilber giebt mit Schwefelsäure zuweilen ein recht schönes Licht. Wenn man sehr reinen Alkohol mit rauchendem Salpetergeist gemischt allmälig erwärmt, so fangen die Dämpfe früher an, im Dunkeln leuchtend zu werden, ehe die Mischung sich entzündet. Vor dem Löthrohre zeigen in der Sauerstoffluft Witherit, Strontianit und andere Körper gefärbte, im Dunkeln leuchtende Dämpfe [2].

In einzelnen Fällen giebt selbst die Gährung eine Lichterscheinung; Göbel hat dieses an gährendem Fruchtwein bemerkt, wo die sich entwickelnden Luftblasen, durch eine Glasröhre hinaufsteigend, leuchtend erschienen [3].

4. Licht durch Elektricität.

Da von den Erscheinungen des elektrischen Funkens ein eigner Artikel handelt und von dem im luftleeren Raume entstehenden elektrischen Lichte in dem Artikel *Elektricität* [4] das Wichtigste vorkommt, da endlich von dem Antheile, den die Elektricität an den durch chemische Wirkungen hervorge-

1 Auch wenn man concentrirte Schwefelsäure auf überoxygenirt salzsaures Kali (chlorsaures Kali) giefst, zeigen sich zuweilen Lichtblitze. G. XII. 427.

2 Schweigger's Journ. VII. 252.

3 Ebend. XL. 257.

4 Dieses Wörterb. Bd. III. S. 289.

brachten Lichterscheinungen hat, hier nicht geredet werden kann, so bleiben nur diejenigen Erscheinungen übrig, die man an verschiedenen Körpern, wenn der elektrische Funken über ihre Oberfläche hingegangen ist, bemerkt; diese Erscheinungen werde ich erst nach Erzählung der Erscheinungen der Phosphorescenz durch Bestrahlung anführen.

5. Phosphorescenz beim Erwärmen.

Der Begriff, den man mit Phosphorescenz verbindet, daſs es ein nur schwaches Leuchten mit nicht sehr merklicher Veränderung in der Beschaffenheit des Körpers sey und daſs es ohne sehr groſse Erwärmung entstehe, daſs es sich also vom Glühen durch viel geringeres Licht, vom Verbrennen überdas durch den Mangel chemischer Veränderungen unterscheide, ist ein ziemlich unbestimmt begrenzter, indem in den meisten hier angegebenen Rücksichten das Leuchten des Phosphors in atmosphärischer Luft ein Phosphoresciren heiſsen kann, da es doch, wenn auch die Veränderungen langsam vorgehen, als ein Verbrennen angesehen werden muſs. Und ebenso sind in andern Fällen die Grenzen, wo die eine Art des Leuchtens aufhört und die andere anfängt, nicht immer gut zu bestimmen.

Ueber die verschiedenen Arten der Phosphorescenz hat Heinrich so zahlreiche, in die vielen Hunderte gehende Versuche angestellt, daſs ich mich auf ihn vorzüglich beziehen muſs, zumal da er auch die wichtigsten älteren Untersuchungen benutzt und mit seinen eignen Erfahrungen verglichen hat[1]. Ehe ich aber diese Erfahrungen nach der Reihe anführe, scheint es mir nothwendig, von den künstlichen Phosphoren oder Leuchtsteinen und der Art ihrer Verfertigung hier zu reden, weil sie so oft erwähnt werden und bei den verschiedenen Arten der Phosphorescenz wieder vorkommen.

Der gewöhnliche Phosphor oder Kunkel's Phosphor muſs hier um so mehr erwähnt werden[2], da sein Leuchten zu man-

---

1 Die Phosphorescenz der Körper, oder die im Dunkeln bemerkbaren Lichtphänomene der unorganischen Natur. In fünf Abtheilungen von Placidus Heinrich. Nürnberg 1811. 1812. 1815. 1820. 1820.

2 Ueber seine Bereitung aus Knochen s. Thenard traité de Chimie. §. 787.

nigfaltigen Versuchen Anlafs gegeben hat. Er zeigt in freier Luft, selbst bei niederer Temperatur, im Dunkeln ein grünlich weifses Licht, welches mit dem Ausstofsen weifser Dämpfe begleitet ist. Dafs diese Erscheinung nichts anderes als ein langsames Verbrennen sey, eine Verbindung des Phosphors mit dem Sauerstoff, welcher dadurch aus der atmosphärischen Luft ausgeschieden wird [1], ist entschieden und bekannt genug. Nach Heinrich's Versuchen tritt dieses Leuchten in atmosphärischer Luft schon bei + 2° bis + 4° R. ein; der Phosphor brennt in atmosphärischer Luft bei + 30° R., im Sauerstoffgas bei + 20° R. Phosphor unter Wasser erhitzt leuchtet beim Abkühlen, während er unter Wasser bleibt, noch bei + 5°, aber der mit einer weifsen Kruste überzogene Phosphor leuchtete unter Wasser nicht. Wenn der Phosphor unter Wasser bis zum Schmelzen erhitzt wurde (etwa + 32° R.), so leuchtete er, auch wenn das Gefäfs fest verschlossen war, Stunden lang, und man konnte das Leuchten erneuern, wenn man den Phosphor mit der eingeschlossenen Luft in Verbindung brachte; selbst bei — 3° leuchtete noch der Phosphor und derjenige Theil der ihn umgebenden Flüssigkeit, welcher sich ungefroren erhalten hatte. Phosphor in Nelkenöl, Anisöl, Baumöl gelegt leuchtete nur beim Schütteln; je mehr sich aber vom Phosphor mit dem Oele verbindet, desto schöner wird das Leuchten; zuletzt sah Heinrich die ganze Oberfläche hell leuchtend und Monate lang konnte man, wenn das Glas fest verschlossen blieb, das Leuchten durch Schütteln wieder hervorbringen.

Dafs der Phosphor selbst in einem sehr reinen Stickgas leuchte, fand zuerst Göttling und nach ihm stellte Böckmann eine sehr vollständige Reihe von Versuchen hierüber an. Nach Böckmann's Erfahrungen findet dieses Leuchten selbst bei — 12°, nach Heinrich wenigstens bei 0° statt, während in freier atmosphärischer Luft + 2° und in reinem Sauerstoffgas + 8° die niedrigste Temperatur des Leuchtens ist. Das wahre Verbrennen findet im Sauerstoffgas bei geringerer Wärme, als in der atmosphärischen Luft statt. Wenn man nämlich Phosphor in freier Luft frei aufhängt, so kommt er bei + 30° zum lebhaften Verbrennen, in ziemlich reinem Sauerstoffgas aber schon bei + 18°, vielleicht bei + 15°; dagegen tritt bei einer nie-

1 S. Art. *Eudiometer*.

drigeren Temperatur im reinen Sauerstoffgas das stille Leuchten erst nach mehreren Stunden ein.

Man sah die Erscheinungen des Leuchtens im Stickgas lange Zeit als einen Beweis an, daſs das Stickgas auf eine eigenthümliche Art auf den Phosphor wirke, und glaubte der unbedeutenden Quantität Sauerstoffgas, die etwa in dem anscheinend reinen Azotgas noch übrig seyn konnte, keinen Antheil an diesen Phänomenen zuschreiben zu dürfen; Heinrich sowohl als auch Böckmann [1] erklären sich für diese Ansicht. Aber da später Bellani gefunden hat, daſs in verdünntem Sauerstoffgas der Phosphor bei viel niedrigern Temperaturen leuchtet, als in verdichtetem Sauerstoffgas, so läſst sich übersehen, daſs auch das in hohem Grade verdünnte Sauerstoffgas, welches sich in dem anscheinend reinen Stickgas noch findet, ebenfalls das Hervorgehen des Leuchtens erleichtern kann. Thénard stellt diese Erscheinungen so dar. Wenn man Phosphor in ein Sauerstoffgas bringt, das die Elasticität der freien Luft besitzt oder das Barometer auf etwa 28 Zoll erhält, so findet in mehreren Stunden noch keine erhebliche Absorption des Sauerstoffgases statt; aber wenn man dagegen den Phosphor in ein verdünntes Sauerstoffgas bringt, wo das Barometer nur 2 bis 4 Zolle hoch steht, so umgiebt er sich sogleich mit weiſsen Dämpfen, leuchtet im Dunkeln und absorbirt den Sauerstoff, mit welchem er Unterphosphorsäure (acide phosphatique) bildet. Je mehr man die Dichtigkeit des Gases vermindert, desto leichter tritt diese Erscheinung ein, und aus eben dem Grunde leuchtet er in einer nur wenig Sauerstoffgas enthaltenden Stickluft oder in kohlensaurer Luft oder Wasserstoffgas [2]. Eben dieses, daſs der Phosphor bei vermindertem Drucke fähiger werde, sich mit dem Sauerstoffe zu verbinden, schlieſst van Bemmelen aus seinen eignen Versuchen [3].

Von ganz anderer Beschaffenheit, als der Phosphor, sind diejenigen Leuchtsteine, die dadurch, daſs sie leuchtend wer-

---

1 Versuche über das Verhalten des Phosphors in verschiedenen Gasarten. Von C. W. Böckmann. Erlangen 1800. In diesem Buche werden auſser zahlreichen eignen Versuchen auch die frühern Untersuchungen mitgetheilt.

2 Thénard traité de chemie élémentaire. T. I. §. 98.

3 G. LIX. 273.

den, ohne merkliche chemische Veränderungen zu erleiden, die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf sich gezogen haben. Da diejenigen natürlichen Körper, welche sich als leuchtend auszeichnen, nachher angegeben werden, so stelle ich hier voran nur die künstlich bereiteten Leuchtsteine, unter denen der *Bononische* oder *Bologneser* Leuchtstein am längsten bekannt ist. Dieser wurde von Vinc. Cascariolo schon vor dem Jahre 1630 erfunden. Es ist ein Schwerspath, den man auf folgende Weise zum Leuchtstein bereitet. Nachdem man diesen Stein zu einem gröblichen Pulver zerstofsen und mit Eiweifs oder Traganthschleim zu dünnen Pasten geformt hat, so wird er in freiem Feuer zwischen glühenden Kohlen gebrannt, wobei eine zweistündige Erhitzung in mafsigem Kohlenfeuer ohne Gebläse zureicht, um einen guten Leuchtstein zu erhalten [1]. Dadurch wird er zerreiblich und fast zerfallend, erhält einen Geruch nach Schwefelleber und brauset mit Säuren auf; sein Vermögen zu leuchten aber, welches er schon als Schwerspath besafs, ist in Rücksicht der Intensität des Lichtes und in Rücksicht der Dauer sehr gesteigert.

Ein zweiter, sehr bekannt gewordener Leuchtstein ist Canton's Phosphor. Die von Heinrich als sehr erwünschte Resultate gebend bestätigte Methode der Bereitung ist, nach Canton und Higgins, folgende. Es werden Austerschalen eine Stunde lang in Kohlenfeuer gebrannt, die reinsten Theile ausgesucht und mit ein Drittel so viel Schwefelleber gemischt, oder auch lagenweise, indem man jede Lage mit Schwefelblumen bestreut, in einem Tiegel geschichtet; Heinrich bedeckte noch den Boden des Tiegels und auch die Oberfläche der Mischung mit Kohlenpulver; diese Masse wird im Feuer eine Stunde lang rothglühend erhalten. Die nach der Abkühlung zerstückelte Masse giebt die Leuchtsteine, die man am besten in dicht verschlossenen Glasröhren aufbewahrt.

Auch Balduin's Phosphor (*phosphorus hermeticus*), 1674 bekannt gemacht, ist als Leuchtstein berühmt geworden, obgleich er weniger den Zweck erfüllt. Um ihn zu erhalten, wurde (so erzählt Heinrich seine Versuche) gestofsene Steinkreide mit gutem Scheidewasser bis zur Sättigung gemischt, das Uebrige abgeseigert, die Michung auf einem warmen Ofen getrocknet,

1 Heinrich S. 53.

zerstofsen und mit Eiweifs zu Pasten geformt; diese Pasten wurden eine Stunde lang zwischen lebhaft glühenden Kohlen gebrannt, dann abgekühlt und dem Tageslichte ausgesetzt.

Als eine neue Art Leuchtstein beschreibt HEINRICH folgenden. Ein Täfelchen schöner weifser Alabaster wurde gebrannt, dann gepocht und im Verhältnisse von 3 : 4 mit Sauerkleesalz gemischt; das Gemisch wurde im Schmelztiegel zwischen Kohlen zwei Stunden lang einem mäfsigen Feuer ausgesetzt; die gebrannte Masse, welche schön weifs erschien, wurde dann aus dem Tiegel genommen und abgekühlt. Der so erhaltene Leuchtstein war der schönste, den HEINRICH aus eignen Versuchen erhalten hatte, und konnte, wenn er der Sonne ausgesetzt gewesen war, eine Stunde lang leuchten[1].

Auch aus Flufsspathsäure, mit Kieselerde verbunden und mit gebrannten Austerschalen gemischt, läfst sich ein Leuchtstein erhalten, dessen Verfertigung HEINRICH beschreibt.

Zu diesen länger bekannten Leuchtsteinen hat OSANN mehrere neue hinzugefügt[2]. Die Aehnlichkeit, welche der Arsenik mit dem Schwefel hat (bemerkt OSANN), habe ihn zu Anwendung desselben statt des Schwefels bei einem dem Schwerspathphosphor nachgebildeten Leuchtsteine veranlafst. Arseniksaurer Baryt mit Traganth zu Pasten gebildet und im Kohlenfeuer geglüht giebt einen Leuchtstein, der, einer glühenden Kohle gleich, den Bononischen Leuchtstein übertrifft. Ferner, wenn man calcinirte Austerschalen mit Realgar (rothem Schwefelarsenik) so behandelt, wie man den Canton'schen Phosphor bereitet, erhält man einen Leuchtstein, der schönes blaues Licht und daneben gelbes Licht zeigt. Statt des Realgars, Schwefelantimon mit den Austerschalen verbunden giebt einen weifs und grün glänzenden ausgezeichnet schönen Leuchtstein. Die Aufbewahrung geschieht am besten in versiegelten oder mit Blasen zugebundenen Gefäfsen; aber diese Leuchtsteine bleiben einige Wochen lang auch frei aufbewahrt unverändert. Sie werden vorzüglich bei der Bestrahlung durch die Sonne leuchtend.

---

1 Was diese Angaben über die Dauer des Leuchtens betrifft, so wird sich in der Folge zeigen, dafs nach Verschiedenheit der Umstände diese Dauer sehr verschieden ist und dafs eine wenig verstärkte Wärme das Licht oft wieder hervorruft u. s. w.

2 Kastner's Archiv. IV. 347. V. 88., wo genaue Anleitung zur Bereitung derselben gegeben wird.

Nach dieser Einschaltung, der ich keinen bessern Platz zu geben wuſste, gehe ich nun zu den Erfahrungen über die einzelnen Arten der Phosphorescenz über. Da ich hier am meisten Heinrich folgen werde, der in dem oben angegebenen Werke viele Hunderte von Versuchen erzählt hat, so bemerke ich von seinen Versuchen im Allgemeinen, daſs er sich einen völlig gegen den Eintritt alles Lichtes verwahrten Kasten hatte machen lassen, in welchem er, damit das Auge während der Beobachtungen nie durch ein anderes Licht, als das schwache Licht der phosphorescirenden Körper gereizt werde, so lange, als die Versuche dauerten, verweilte. Bei dieser Vorbereitung des Auges konnte er selbst sehr schwache Grade von Leuchten wahrnehmen. Die zu beobachtenden Körper wurden ihm durch einen sogleich wieder völlig dicht und von selbst sich schlieſsenden Schieber hineingereicht. Von Grotthuss brachte bei ähnlichen Versuchen sein Auge unter die Decke eines Bettes und lieſs sich dorthin die zu beobachtenden Körper in das völlige Dunkel hineinreichen, um sie mit gut vorbereitetem Auge zu beobachten. Heinrich hat die wichtigsten frühern Versuche berücksichtigt uud zum Theil mitgetheilt; ich glaube daher das Historische, um nicht allzu ausführlich zu werden, übergehen zu dürfen.

Diejenigen Versuche, die ich hier zuerst anführen will, machen den Inhalt der zweiten Abtheilung des Heinrich'schen Werkes aus; sie betreffen die durch mindere oder stärkere Erwärmung hervorgebrachte Phosphorescenz, wobei jedoch die Erwärmung nicht bis zum Glühen geht. Heinrich bediente sich, um sie hervorzubringen, einer Schale von dickem Kupfer, die ihm noch glühend in den Kasten hineingereicht wurde und auf welche er, nachdem das sichtbare Glühen aufgehört hatte, die Mineralien und anderen der Erwärmung zu unterwerfenden Körper legte und ihre Phosphorescenz nach Stärke, Farbe und Dauer angab. Um von der groſsen Anzahl seiner Versuche hier zur Einleitung nur etwas zu sagen, will ich bemerken, daſs er 51 Körper, deren Hauptbestandtheil Kalkerde ist, 41 Körper, die entweder zu den Edelsteinen gehören, oder Kieselerde als Hauptbestandtheil enthalten, 28 Körper aus dem Talk- und Thongeschlechte, 22 Salze, 86 Metalle, Metalloxyde u. s. w. in Hinsicht auf diese durch Wärme erregte Phosphorescenz prüfte und bei den übrigen Arten der Phosphorescenz nicht weniger zahlreiche Versuche anstellte. Die erwärmten Körper wurden

zuweilen als Pulver, zuweilen in gröfseren Stücken angewandt, um die bei Ungleichheit der Gröfse hervorgehende Verschiedenheit wahrzunehmen. Ich erzähle hier nur einige der wichtigsten Erscheinungen.

Flufsspath gehört unter den durch Erwärmung leuchtenden Mineralien zu denen, welche die schönsten Erscheinungen geben[1]. Um sie ganz vollkommen wahrzunehmen, mufs man nicht blofs Pulver, sondern auch gröfsere Stücke, bis zu mehreren Kubikzollen anwenden. Der grüne schien den Vorzug vor allen zu haben, doch waren auch nicht alle grüne Exemplare gleich. Manche Arten Flufsspath fangen schon bei 50 bis 55 Graden R. im völligen Dunkel an zu glänzen; sie zeigen alle Hauptfarben, jedoch ist darin bei den einzelnen Exemplaren eine Verschiedenheit und auch bei veränderter Temperatur ändert sich die Farbe. Der Flufsspath zeigt violettes, smaragdgrünes, goldgelbes Licht, und obgleich einige Stücke zuerst bei stärkerer Hitze bläulich, dann grün, dann hellgelb leuchteten, so schien doch das grüne Licht den grünen und gelben, das violette den blauen und anders gefärbten Exemplaren vorzüglich eigen zu seyn. Dieses Licht durchdringt den ganzen Körper, so dafs man die Schichten unterscheidet und die ganzen Stücke wie durchsichtig erscheinen. Die Dauer der Phosphorescenz auf der allmälig erkaltenden Schale war zwar sehr ungleich, betrug aber doch bei Pulver einige Minuten und bei gröfseren Stücken 15 Minuten. Auf einem heifsen Ofen kann man das Leuchten Tage lang beobachten und der Flufsspath ist daher zu Anstellung von Versuchen vorzüglich zu empfehlen.

Ausgezeichnet wegen seiner Phosphorescenz durch Erwärmung ist, nach v. Grotthuss[2], der röthlich violette Flufsspath von Nertschinsk, der *Pyrosmaragd* oder *Chlorophan*. Er erlangt bei der Erhitzung eine smaragdgrüne Farbe und nimmt beim Erkalten seine Lillafarbe wieder an, wobei ein Uebergangszustand der Farbenlosigkeit eintritt. Bringt man ihn so erhitzt, dafs er im Tageslichte grün aussieht, in einen verfinsterten Raum, so leuchtet er smaragdgrün und stärker, als alle andere Flufsspatharten. Er zeigt sich bei jener Erhitzung lange Zeit als leuchtend und v. Grotthuss ist der Meinung, dafs das eigenthümliche, von

1 Philos. Magaz. for 1827. I. 143.

2 Schweigger's Journ. XIV. 135.

ihm durch Wärme ausgetriebene grüne Licht auch die Ursache seines Farbenwechsels sey, indem dieses ausströmende grüne Licht das durch Zurückwerfung des Tageslichtes zum Auge gelangende violette Licht bei so starker Erwärmung übertrifft, bei schwächern Wärmegraden dagegen so ausgleicht, daſs der Stein als farbenlos erscheint. In der Folge, wo von der Phosphorescenz durch Bestrahlung gehandelt wird, werde ich noch einige Bemerkungen, die zugleich auch mit der Einwirkung der Wärme auf die Phosphorescenz in Beziehung stehen, mittheilen.

Alle angewandte Mineralien aus dem Kalkgeschlechte in ihrem natürlichen Zustande zeigten einige Phosphorescenz; aber manche verloren diese Eigenschaft bei der Erhitzung sehr bald, statt daſs andere, z. B. Marmor, erst bei sehr starker Erhitzung, wenn sie wiederholtem Brennen ausgesetzt werden, die Fähigkeit zu phosphoresciren einbüſsen.

Auch die Schwerspathe leuchten meistens gut, vorzüglich der Witherit; sie verlangen aber höhere Temperaturen. Sie geben gelbes und grünes Licht, verlieren aber die Eigenschaft zu leuchten durch das Glühen.

Diamanten zeigen sich höchst ungleich; einige leuchten schon bei 80° R., andere noch nicht bei 200° R. Hier, wie bei allen Mineralien, kommt es zwar auf die Gröſse, aber auch auf andere unbekannte Umstände an. Viele der angewandten Edelsteine zeigen kein sehr bedeutendes Licht, bei einigen reicht selbst die Glühhitze des Kupfers nicht hin, sie zum Leuchten zu bringen. Topas leuchtete schön, hellgelb; Amethyst, gepulvert, leuchtete grün und gelb; orientalischer Granat glühend roth. Bergkrystall fordert zwar eine groſse Hitze, wird aber dann durchaus leuchtend. Die durch Metalloxyde gefärbten Gläser leuchten besser, als weiſses Glas; Kiesel und Sand besser als gefärbte Gläser. Im Allgemeinen stehen die zum Kieselgeschlechte gehörenden Mineralien den zum Kalkgeschlechte gehörenden nach.

Auch unter den Mineralien, deren Hauptbestandtheil Bittererde oder Thonerde ist, leuchten einige recht schön, doch muſs man sie meistens als grobes Pulver anwenden. Meerschaum, Amianth, Talk, Feldspath und einige andere leuchten gut; aber der gebrannte Thon einer thönernen Pfeife und gepulverte Fajance leuchteten fast gar nicht, so daſs auch hier, wie in man-

chen andern Fällen, durch anhaltendes Ausglühen die durch Erwärmung hervorgehende Phosphorescenz verloren geht.

Die künstlichen Phosphore, die im Sonnenlichte fähig werden, im Dunkeln zu leuchten, namentlich der Bologneser Phosphor, Canton's Phosphor, der aus Flufsspath, Schwefel und Flufssäure bereitete, so wie der aus Sauerkleesäure mit Kalkerde, zeigten zwar auch hier Phosphorescenz, aber nicht mit vorzüglicher Schönheit.

Osann fand bei den von ihm verfertigten Leuchtsteinen, die er Antimonphosphor, Realgarphosphor, Arsenikphosphor nennt, dafs sie trocken der Hitze des kochenden Wassers ausgesetzt mit der ihnen eigenthümlichen Farbe leuchteten, in kochendes Wasser eingetaucht zwar anfangs leuchteten, aber bald erloschen. Der Arsenikphosphor behielt auch nach dem anhaltenden Glühen seine Eigenschaft, leuchtend zu werden.

Bei Salzen, deren Basen Alkalien oder Erden sind, findet zuweilen beim Aufstreuen auf die heifse Platte ein plötzliches Entstehen von Lichtfunken, ohne dauerndes Phosphoresciren, statt. Pottasche leuchtete prächtig orange, hellglänzend und dann weifslich, selbst Asche von weichem Holze leuchtete mattweifs, 25 Secunden lang. Feuchte Salze leuchten fast gar nicht, doch stieg bei einem ziemlich trocknen vegetabilischen Kali ein leuchtender Dampf auf und nachher leuchtete der Körper mit funkelndem Lichte. Kein Salz, das durch Erhitzen schmilzt, leuchtet. Kochsalz verlor durch Glühen zum Theil die Fähigkeit zu phosphoresciren, ätzendes Kali verlor sie ganz, Salpeter dagegen leuchtete besser, nachdem er in einem Schmelztiegel lange Zeit flüssig erhalten war.

Unter den zahlreichen Versuchen, welche Metalle, Erze u. s. w. betreffen, will ich nur einige wenige anführen. Die Metallfeilspäne geben zuweilen ein augenblickliches Glühen; krystallisirter Grünspan gab ein Funkeln und Glühen, und ein Stückchen schien sogar in eine schwache Flamme auszubrechen; Quecksilber zeigte keine Spur von Licht und selbst bis zum Aufwallen erhitzt nur schwachen Schimmer; kubischer Schwefelkies kam purpurroth glühend in den Kasten und leuchtete 25 Secunden länger als das Kupfer; grobe Körner dieses Schwefelkieses, auf das schon dunkle Kupfer aufgestreut, leuchteten grünlich. Bleigraues Spiefsglanzerz und Spiefsglanzglas leuchtete schön. Heinrich macht hierbei die Bemerkung, dafs die Me-

talle drei verschiedene Erscheinungen zeigen. Erstlich bemerkte man an den Feilspänen, wenn sie auch auf dunkel heifses, nicht mehr glühendes Kupfer fallen, zuweilen ein augenblickliches Funkeln, welches man wohl als wirkliches Glühen so kleiner Theilchen ansehn müsse; zweitens trete bei den geschwefelten Metallen zuweilen ein wahres Verbrennen ein, aber drittens zeigen auch manche Metalloxyde eine eigentlich so zu nennende Phosphorescenz.

Unter den brennbaren mineralischen Substanzen zeichnete sich Graphit durch ein grünliches, nachher weifsliches, Licht aus; Bernstein leuchtete feurig glänzend und nachher goldgelb; Schwefel entzündete sich. Faules Holz gerieth auf dem dunkel heifsen Kupfer in förmliches Glühen; Mehl aus Mais bringt zuerst einen augenblicklichen starken Schimmer, dann ein schönes, ruhiges Licht hervor; auch Roggenmehl leuchtet, Stärke desgleichen. Weifses Schreibpapier leuchtet auf der dunkel heifsen Platte, ohne sich zu entzünden. Elfenbein sprüht anfangs Funken, nachher leuchtet es mit einem ins Grünliche spielenden Lichte. Harte Knochen leuchten grünlich; Eierschalen anfangs grün, dann gelblich weifs, selbst schon bei verminderter Hitze; Pulver von Austerschalen anfangs grünlich, bei abnehmender Wärme gelb, zuletzt weifslich. Dafs die verbrennlichen Substanzen in so bedeutender Hitze, wenn sie auch nicht die eigentlichen Phänomene des Verbrennens zeigen, doch in ihrer Beschaffenheit sehr verändert werden und verkohlen, läfst sich leicht erwarten.

Oele leuchten, wenn sie stark erhitzt werden. Heinrich bestimmte den Grad der Abkühlung, wobei sie zu leuchten aufhören, das heifst, bei welchem ein im völligen Dunkel gut vorbereitetes Auge keinen Glanz mehr wahrnimmt. Dieses tritt ein bei Terpentinöl und Steinöl, wenn die Wärme bis unter 80° R. abgenommen hat; bei Provencer Oel ist diese Wärme 190° R., bei Wachs 135° R.

Als allgemeinen Schlufs über die Phosphorescenz durch Wärme giebt Heinrich an, dafs diejenigen Körper am besten leuchten, welche am meisten unverbrennbar und noch mit einer Säure verbunden sind; tropfbarflüssige, nicht brennbare Körper sind dagegen nicht durch Erwärmung zum Leuchten zu bringen. Durch das Feuer ausgeglühte und schon ausgebrannte Körper sind nicht zum Leuchten geschickt. Wenn man die gut leuchtenden

Körper, z. B. Flufsspath, heftig glüht, so beraubt man sie der Phosphorescenz; befeuchtet man den so gebrannten Flufsspath mit flufssaurem Wasser und läfst ihn mehrere Stunden in flufssaurem Gas, so hat er, nach dem Austrocknen, seine Fähigkeit zu phosphoresciren wieder erhalten; der durch Brennen seiner Phosphorescenz beraubte Schwerspath erlangt sie nach dem Befeuchten mit verdünnter Schwefelsäure, nachdem er trocken geworden ist, wieder; und so ist es auf ähnliche Weise bei andern Körpern. Elektrische Schläge stellen die Fähigkeit zu leuchten her.

Wie in diesen Fällen das Freiwerden des Lichtes zu erklären sey, darüber theilt Heinrich Meinungen mit, die man nicht als sicher begründet ansehen kann. Die folgenden Untersuchungen werden zeigen, dafs die Wärme ganz vorzüglich wirksam ist, um Körper, die auch ohne sie zum Phosphoresciren geschickt sind, zu einem höhern Grade der Phosphorescenz zu bringen.

6. Phosphorescenz durch Bestrahlung.

Auch hier werde ich mich vorzüglich an Heinrich's zahlreiche Versuche halten und einen Auszug aus seinem Werke mittheilen, wo diese Versuche den ersten Abschnitt ausmachen. Die Erfahrung, dafs manche Körper, welche dem Tageslichte ausgesetzt worden oder von der Sonne beschienen sind, im Dunkeln leuchten, ist schon lange bekannt, namentlich kannte man sie in einigen schon oben erwähnten künstlichen Phosphoren oder Lichtsaugern und lernte sie dann auch am Diamant kennen. Diese Phosphorescenz durch Bestrahlung, durch eine Einwirkung der Sonnenstrahlen oder *Insolation*, hatte Dufay an Diamanten bemerkt, die nur wenige Secunden den Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen waren; Beccari und Wilson stellten mehrere Versuche an, die Heinrich etwas umständlicher anführt. Heinrich's eigne Versuche gehen eine lange Reihe von Körpern durch und er stellte die Beobachtung in eben dem ganz dunkeln Raume an, den ich vorhin beschrieben habe.

Auch hier zeigten sich die kalkartigen Fossilien, die eine Säure enthalten, als vorzüglich gute Phosphore.

Die kohlensauren Kalke geben ein glänzendes, helles, weifses Licht, indefs dauert doch das Phosphoresciren nur Secunden

lang, selten über ½ Minute. Der schwefelsaure Kalk leuchtet kürzere Zeit und minder glänzend. Phosphorsaure Kalkerden, Knochen zum Beispiel, leuchten durch Bestrahlung schwach, statt daſs Eierschalen besser leuchten. Der Fluſsspath dagegen zeichnet sich durch die Eigenschaft, selbst durch eine nur Secunden lang dauernde Bestrahlung viele Minuten lang im Dunkeln leuchtend zu werden, aus; indeſs ist sein Licht nicht sehr glänzend.

Zu diesen von Heinrich gefundenen Resultaten hat von Grotthuss einige sehr wichtige Beobachtungen über den schon oben erwähnten *Chlorophan* hinzugefügt [1]. Ist dieser Wochen lang im Dunkeln aufbewahrt worden und wird dann, ohne dem Lichte ausgesetzt gewesen zu seyn, im Dunkeln beobachtet, so leuchtet er gewiſs nicht, auch wenn er durch die Wärme der Hand etwas erwärmt wird; stellt man ihn aber einige Minuten lang ins Sonnen- oder Kerzenlicht, so behält er mehrere Tage, ja Wochen lang das Vermögen, im Dunkeln zu leuchten, und wenn er es allmälig verliert, so reicht geraume Zeit hindurch die Wärme der Hand hin, um es wieder hervorzubringen. Hat der Chlorophan zwei bis drei Monate lang in der Finsterniſs gelegen, so fangt er erst bei 45° bis 50° R. an zu leuchten und zeigt sich bei dieser Wärme selbst im Wasser leuchtend. Von Grotthuss beschreibt einen Versuch, wo ein Canton'scher Phosphor neben einem Chlorophan 15 Minuten in das Sonnenlicht gestellt wurde und dann jeder in einer Schachtel wohl verschlossen ins Dunkel gesetzt wurde. In der Nacht wurden beide hervorgenommen und leuchteten gleich stark; in der zweiten Nacht, während den Tag über wieder beide im Dunkeln wohl verwahrt gewesen, leuchtete der Chlorophan schon stärker, als der Canton'sche Phosphor, und in den folgenden Nächten ward der Unterschied immer deutlicher; in der fünften Nacht leuchtete der letztere nicht mehr und das Leuchten konnte nur bis zur siebenten Nacht noch durch die Wärme der Hand hervorgerufen werden, statt daſs der Chlorophan bis in die zehnte Nacht ohne weitere Nachhülfe und bis zur 24sten Nacht bei Erwärmung durch die Hand sich leuchtend zeigte; in der 36sten Nacht konnte durch 40° R. Wärme noch ein matter Schimmer hervorgerufen werden. Wurde der Chlorophan bei — 25° Kälte der

---

1 Schweigger's Journ. XIV. 138.

Sonne ausgesetzt und dann in ein dunkles Zimmer von + 6° bis + 8° Wärme gebracht, so leuchtete er vorzüglich schön mit grünem Lichte, das erst nach einigen Stunden in einen matten farbenlosen Schimmer überging. Wurden dagegen erwärmte Stücke (von 25° bis 30° R. warm) dem Sonnenstrahle ausgesetzt und dann in ein dunkles Zimmer von 0° bis — 10° gebracht, so war das Leuchten schwächer und von kürzerer Dauer, so wie es auch bei dem Canton'schen und Bononischen Phosphor der Fall ist. Selbst durch das 2 Minuten hindurch ihn treffende Kerzenlicht blieb er 10 Stunden lang leuchtend.

Jene Beobachtungen zeigen, daſs die angeführten Leuchtsteine die Eigenschaft zu leuchten am besten behalten, wenn man sie eingewickelt im Dunkeln aufbewahrt und sie also gegen Luft und Licht sichert.

Die Mineralien, welche zum Barytgeschlechte gehören, werden gleichfalls nach der Bestrahlung leuchtend, jedoch nicht auf lange Zeit, am besten auf dem frischen Bruche. Der Bononische Leuchtstein, dessen Verfertigung aus Schwerspath ich oben angegeben habe, ist vorzüglich durch sein Leuchten, nachdem er den Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen, berühmt geworden. Wenn man ihn in einer hermetisch verschlossenen Röhre aufbewahrt, so kann er viele Jahre lang seine Eigenschaft, leuchtend zu werden, behalten. Wenn er 8 bis 10 Secunden der Sonne ausgesetzt und dann in völliger Dunkelheit beobachtet wird, so erscheint er mit rothem, feurigem Lichte, das allmälig abnimmt, aber bei gut gelungenen Leuchtsteinen erst nach einer Stunde ganz erloschen ist. Nach Morozzo's Beobachtungen leuchtet er in Sauerstoffgas heller, als in atmosphärischer Luft; in Wasserstoffgas zwar matter, aber ohne seine Eigenschaften selbst in mehreren Tagen zu verlieren; in kohlensaurem Gas verlor er die Fähigkeit zu leuchten in 48 Stunden; in Salpetergas erlosch das Licht sehr bald und die Leuchtkraft war auch für die Folge verschwunden. Im Torricelli'schen Vacuum behält er seine Eigenschaft, vorzüglich gut zu leuchten, sehr lange, wie Seebek beobachtet hat[1].

Die Steine aus dem Kieselgeschlechte, mit welchen Heinrich die Edelsteine in eine Reihe bringt, phosphoresciren (den Diamant ausgenommen) wenig oder sehr kurze Zeit; eben das

1 Schweigger's Journ. VII. 121.

gilt von der Thonerde und Talkerde. Diamanten haben zwar im Allgemeinen die Eigenschaft, durch Bestrahlung phosphorisch zu werden, in vorzüglichem Grade, aber es giebt dennoch sehr viele, die nicht dazu geschickt sind. Einige brauchen nur wenige Secunden in die Sonne gehalten zu werden, um eine Stunde leuchtend zu bleiben, und so ungleich auch die einzelnen Exemplare sind, so scheinen doch die gröfseren Diamanten hierin am meisten sich auszuzeichnen. Sie leuchten unter Wasser so gut, als in der Luft, und ihr Licht ist glänzend und feurig. In den durch eine Linse concentrirten blauen Strahlen des prismatischen Farbenspectrums ward einer der besten Diamanten 15 Minuten lang leuchtend; aber ebenso den rothen Strahlen ausgesetzt blieb er dunkel [1]. Elektrisches Licht und Lampenlicht geben ihm die Eigenschaft zu leuchten, Mondlicht nicht. Den Grund, warum einige Diamanten nicht leuchten, sucht Heinrich darin, dafs sie blofs Kohlenstoff und keine Kohlensäure enthalten; aber der Beweis dafür ist wohl nirgends gegeben.

Die mineralischen Salze zeigten sich der Kalkerde ähnlich, sie leuchteten nämlich nach der Bestrahlung einige Secunden lang und bis $\frac{1}{2}$ Minute. Unter den brennbaren Mineralien findet man fast keine durch Bestrahlung leuchtend; Schwefel, Erdpech, Steinkohlen, Torf, Graphit u. a. leuchteten nicht. Gediegener Schwefel aus dem Vesuv leuchtete da, wo er weifse Flecken hatte.

Kein regulinisches Metall leuchtet durch Bestrahlung, dagegen leuchten die Metallsalze ziemlich gut, die künstlichen durchs Feuer bereiteten Metalloxyde nur sehr schwach, die natürlichen etwas besser. Die Theile der Pflanzen werden durch Bestrahlung nur sehr wenig leuchtend. Spuren des Leuchtens geben Holz, Rinde u. s. w.; besser leuchtete ein altes Zuckerrohr und eine Dattel. Die aus Pflanzenstoffen bereiteten Körper phosphoresciren zum Theil gut, vorzüglich die gebleichten, am besten das weifse Papier, das jedoch, wenn die Sonne es zu lange bescheint, diese Eigenschaft verliert.

Unter den thierischen Substanzen sind die am tauglichsten, welche kohlensaure Kalkerde enthalten, Eierschalen, Auster-

1 Hiermit stimmen Seebek und v. Grotthuss überein. v. Göthe Farbenlehre II. 705. und v. Grotthuss in Schweigger's Journ. XIV. 135.

schalen und drgl. Die letztern leuchten im natürlichen Zustande nur kurze Zeit; aber in mäfsigem Kohlenfeuer so durchglüht, dafs sie nicht zerfielen oder vielmehr erst später in kleinere Stücke zerfielen, zeigten sie sich nach dem Bestrahlen 6 Minuten lang mit schönem gelblichen Lichte. CANTON's Phosphor, der aus solchen gebrannten Austerschalen, mit einem Drittel Schwefelleber gemischt, besteht, ist als vorzüglich gut durch Bestrahlung leuchtend bekannt. OSANN stellte vergleichende Versuche mit den von ihm entdeckten und dem Bononischen Leuchtsteine an und fand, dafs, nachdem sie 1 Minute dem Tageslichte ausgesetzt gewesen waren, der Bononische Phosphor 4 Minuten, der goldgelbe Arsenikphosphor 34 Minuten, der Antimonphosphor 149 Minuten leuchtete; Realgarphosphor leuchtete am Ende dieser Zeit noch ebenso schön, als eine Stunde früher. Alle drei neue Phosphore, dem Lichte des in Sauerstoffgas brennenden Phosphors 1 Minute lang ausgesetzt, leuchteten im Dunkeln; das Licht des in Sauerstoffgas brennenden Schwefels, welches den Bononischen Phosphor nicht leuchtend macht, bewirkte bei jenen Leuchtsteinen Phosphorescenz, ja ein gewöhnliches Talglicht und ein weifsglühendes Eisen, jedes in 1 Fufs Entfernung von den neuen Leuchtsteinen gehalten, machte sie im Dunkeln leuchtend.

Von den allgemeinen Bemerkungen über diese Art der Phosphorescenz verdienen noch folgende angeführt zu werden. Es bedarf keiner lange fortgesetzten Einwirkung des Sonnenlichtes oder Tageslichtes, um die Phosphorescenz hervorzubringen, und diese kann daher nicht von Erwärmung herrühren, welche in wenigen Secunden unmöglich einen bedeutenden Grad erreichen kann. Im Allgemeinen sind weifse Körper mehr als dunkelfarbige oder schwarze geeignet, durch Bestrahlung leuchtend zu werden, indefs giebt es auch viele weifse Körper, welche diese Eigenschaft nicht besitzen. Berühren mit der Hand, Reiben und drgl. stört das Leuchten nicht; dieses ist also nicht so der Oberfläche eigen, dafs es weggewischt werden könnte; ja man erkennt auch deutlich, dafs gute Phosphore als halb durchsichtig erscheinen, und wenn man, während sie leuchten, Furchen in sie feilt, so leuchtet auch die so neu hervorgebrachte Oberfläche. Dieses Leuchten findet selbst bei einer Kälte von — 10° R. so gut wie bei + 20° statt. Selbst das Eis wird leuchtend. Die Politur schadet der Phosphorescenz und am Marmor zum Beispiel

ist die frische Bruchfläche am besten phosphorescirend, die geschliffene Seite weniger.

Heinrich sieht es als eine Hauptfolgerung aus seinen Versuchen an, dafs jede Verbindung einer Erde oder einer säuerungsfähigen Basis mit einer Säure Phosphore durch Bestrahlung liefere; damit stehe auch das in Verbindung, dafs das Bleichen und das Behandeln mit Kalkbeize bei Präparaten aus dem Pflanzenreiche das Leuchten vermehre. Dafs er für die ungleiche Phosphorescenz der Diamanten hierin einen so *schönen* Erklärungsgrund findet, scheint mir etwas übereilt, indem er doch nur *vermuthet* (und, so viel ich weifs, ohne nachzuweisenden Grund), dafs einige Diamanten viel Kohlensäure enthielten, andere aber nicht. Andere Versuche geben dagegen in der That Beweise, dafs man den Körpern, die nicht phosphoresciren, durch Verbindung mit Säuren diese Eigenschaft ertheilen kann, zum Beispiel einem gar nicht phosphorescirenden Quecksilberoxyde ertheilte man die Eigenschaft zu leuchten dadurch, dafs es mit Schwefelsäure verbunden wurde. Auch der Umstand, dafs die als feste Körper darstellbaren Säuren, zum Beispiel Boraxsäure, gut leuchteten, gehört hierher. Schwer möchte dagegen ein anderer Satz zu beweisen seyn, den Heinrich aufstellt, dafs die Phosphorescenz durch Bestrahlung mit einer schwachen Entsäuerung verbunden sey.

Diesen gröfstentheils aus Heinrich's Schrift ausgehobenen Beobachtungen und Bemerkungen füge ich noch einige andere aus den schon oben angeführten Abhandlungen von Osann und v. Grotthuss bei[1]. Letzterer hat mehrere Substanzen den durch das Prisma getrennten Farbenstrahlen ausgesetzt und, ähnlich den Erfahrungen über den Diamant, sie durch blaues Licht viel schöner leuchtend, als durch rothes Licht, gefunden. Nie leuchteten sie mit der Farbe, die sie empfangen hatten, sondern mit dem ihnen auch bei der Bestrahlung durch die freie Sonne eigenthümlichen Lichte; die Phosphorescenz war am schönsten nach der Bestrahlung des freien Sonnenlichtes, aber die Bestrahlung der violetten und blauen Strahlen des prismatischen Farbenbildes gab eine bessere Phosphorescenz, als die Bestrahlung mit rothem Lichte. Eine weifse Visitencharte, die dem ganzen prismatischen Spectrum einige Minuten lang ausgesetzt

1 Schweigger's Journ. XIV. 154. XV. 172.

gewesen war, zeigte nur da, wo die violetten, blauen, grünen Strahlen sie getroffen hatten, als sie schnell ins Dunkle gebracht wurden, eine Phosphorescenz. Auch der Canton'sche Phosphor, der sehr erhitzt bald dem rothen, bald dem blauen Strahle ausgesetzt war, leuchtete besser durch die Einwirkung des blauen Strahles. Ebenso der Chlorophan.

Wenn man eine Einrichtung gemacht hat, um die Körper nach der Bestrahlung in Zeit von 2 Secunden in ein völliges Dunkel zu bringen, wo man sie mit gehörig vorbereitetem Auge erwartet, so zeigen die meisten weifsen und hellfarbigen Körper eine, oft freilich schwache und kurzdauernde, Phosphorescenz. Auf einem Kupferstiche sah man die weifse Umgebung hell, während die schwarzen Stellen dunkel erschienen, so dafs der dargestellte Gegenstand kenntlich war.

Aus der schon oben angeführten, vorzüglich merkwürdigen Beobachtung, dafs man den Körpern, welche durch Bestrahlung leuchtend geworden sind, diese Eigenschaft viel länger erhalten kann, wenn man sie sorgfältig gegen den Zutritt der Luft und des Lichtes sichert, und dafs diese Körper, wenn sie nach Monate langem Aufbewahren im Dunkeln ihre Eigenschaft zu leuchten ganz verloren haben, nur durch neue Bestrahlung wieder leuchtend werden, schliefst von Grotthuss, dafs der Chlorophan und so auch andere Leuchtsteine nie anders, als in Folge früherer Bestrahlung leuchtend werden, oder mit andern Worten, dafs sich aus ihnen bei der Phosphorescenz nur dasjenige Licht wieder entwickele, was sie irgend einmal bei früherer Bestrahlung aufgenommen, ihrer ponderabeln Materie incorporirt haben[1]. Eine sehr wichtige Bestätigung dieser Ansicht scheint aus Osann's Versuchen hervorzugehen. Er bemerkt, dafs Leuchtsteine, die man im Dunkeln gleich nach der Bereitung aus dem Tiegel genommen und im Dunkeln aufbewahrt hat, weder durch Erwärmung, noch durch Berührung mit Salzsäure leuchtend werden, obgleich diejenigen Leuchtsteine, die irgend einmal dem Tageslichte oder einem andern lebhaften Lichte ausgesetzt

---

1 Helvig's Behauptung, dafs selbst die gläsernen Knallbomben, wenn man sie in einem nie durch Sonnenlicht erhellten Orte fallen und zerspringen läfst, kein Licht geben, schliefst sich diesem zwar an; aber diese Behauptung bedarf doch noch wohl einer nähern Prüfung. G. Ll. 112.

gewesen sind, durch beide Mittel leuchtend werden. Diesem gegenüber steht freilich ein Versuch von Dessaignes, den Heinrich anführt, welcher einen im Dunkeln bereiteten Canton'schen Phosphor, der nie dem Lichte ausgesetzt gewesen, durch Erwärmung leuchtend fand; aber dennoch verdient jene Beobachtung grofse Aufmerksamkeit. Gegen die Einwendung, dafs diese Phosphore doch in der Glühhitze bereitet sind, macht Osann die Bemerkung, dafs sie bei so hoher Temperatur kein Licht absorbiren, da man deutlich sieht, wie selbst eine viel geringere Temperaturerhöhung das noch in ihnen enthaltene Licht austreibe, oder mit andern Worten, wie eine Temperaturerhöhung sie wieder zum Leuchten bringe, wenn sie schon aufgehört haben zu leuchten, und ferner, dafs die Rothglühhitze nicht zureichend sey, sie leuchtend zu machen.

Hiernach also dürfte man die Phosphorescenz durch Bestrahlung als ein Zurückgeben des durch die äufsere Beleuchtung empfangenen Lichtes ansehen. Osann behauptet auch, die Phosphorescenz stehe in deutlichem Verhältnisse zu dem bei der Bestrahlung wirksamen Lichte, indem schwaches Licht auch nur schwache Phosphorescenz hervorbringe. Die wichtige Einwendung, dafs sie ihre eigenthümliche Farbe der Phosphorescenz behalten, das zur Bestrahlung angewandte Licht mag weifses Licht oder farbiges seyn, glaubt er dadurch zu widerlegen, dafs doch auch farbige Gläser noch immer einiges anderes gefärbtes Licht durchlassen; aber obgleich dieses gegründet ist, so wäre hier doch zu beweisen, dafs diese gewifs nur geringe Quantität des weifsen Lichtes noch immer so bedeutende Wirkung hervorbringen könne. Heinrich sucht die Erscheinungen auf die entsäuernde Kraft des Lichtes zurückzuführen.

7. Phosphorescenz durch den elektrischen Funken erregt.

Es ist eine schon vor langer Zeit gemachte Beobachtung, dafs manche Körper an den Stellen ihrer Oberfläche leuchtend werden, wo elektrische Funken über sie hingegangen sind, und dafs sie eine Zeit lang leuchtend bleiben [1]. Auch diese Erschei-

---

1 Cavallo's Abh. von der Elektricität. I. 223.

nung hat Heinrich genauer beobachtet, und da er zwischen ihr und der Phosphorescenz durch Bestrahlung eine grofse Uebereinstimmung findet, so hat er die Versuche in der ersten Abtheilung seiner Schrift mit aufgenommen. Die Methode, deren er sich bediente, war, dafs er den Funken einer geladenen Flasche von 160 Quadratzoll Belegung zwischen Kugeln, die ½ Zoll von einander entfernt waren, überschlagen liefs und auf diese Weise die immer gleiche Stärke des Funkens bewirkte; die in dem Versuche zu prüfenden Körper wurden zwischen eine Unterbrechung der Metalldrähte, wo der Zwischenraum 10 bis 12 Linien betrug, auf eine Harzfläche gelegt, so dafs der Funke seinen Weg über sie nehmen mufste, und nach einer im Dunkeln zweimal hinter einander erfolgten Entladung ward die Dauer des Leuchtens beobachtet. Hier zeigten sich nun wieder die Mineralien aus dem Kalkgeschlechte und die Schwerspathe als vorzüglich gut leuchtend. Doppelspath leuchtete über 6 Minuten, roher Kalkstein 4 bis 5 Minuten, grüner Flufsspath und Schwerspath 6 Minuten, schwach gebrannter Schwerspath 8 Minuten, gebrannte Austerschalen 50 Minuten. Einige dieser Körper erlangten zuerst einen farbigen Glanz, der aber bald ins Weifsliche überging. Nach von Grotthuss giebt der elektrische Funken, über die Oberfläche des Chlorophans hingehend, einen smaragdgrünen leuchtenden Streif, und ein mattes Leuchten dauert auch nach dem Verschwinden der Farbenerscheinung fort. Die meisten Edelsteine (den Diamant ausgenommen) leuchteten gar nicht, und nur einige wenige Mineralien, in welchen die Kieselerde vorwaltend ist, hatten eine ziemlich dauernde Phosphorescenz. Als schlecht leuchtend zeigten sich auch Thonerde und Talkerde. Unter den Diamanten leuchteten manche, aber der Versuch konnte nicht oft wiederholt werden, da jeder Funke eine Spur seines Weges zurückläfst und daher nach und nach das schöne Ansehen des Steines zu sehr leidet. Die Salze leuchten hier in eben dem Grade mehr oder minder gut, wie bei der Bestrahlung, ja die Dauer ihres Leuchtens stimmte in beiden Fällen nahe überein. Kochsalz, durch welches der elektrische Funke geschlagen hat, soll nach v. Grotthuss selbst nach der Auflösung und abermaligen Krystallisirung leuchtender seyn, als sonst ebenso behandeltes, nicht elektrisirtes [1]. Steinkohle,

1 Schweigger's Journ. XV. 193.

Schwefel und andere brennbare Mineralien leuchten nicht; Metalle auch nicht; unter den Metalloxyden und metallischen Salzen sind wenige, die mit erheblicher Dauer leuchten. Unter den künstlichen Phosphoren hat der Bolognesische Phosphor auch hier einen vorzüglichen Werth, er leuchtet zuerst glühend roth; der aus Kalkerde und Sauerkleesäure bereitete Leuchtstein zeigte sich auch hier schön; CANTON's Phosphor leuchtete, obgleich er in einer Glasröhre enthalten war, über deren Oberfläche der Funke fortging. Die meisten Körper zeigen nur da, wo der elektrische Funke seinen Weg genommen hat, einen leuchtenden Streifen, aber einige, namentlich die eben erwähnten Phosphore und weifser Zucker, zeigen sich in ausgedehnterer Breite leuchtend. Diese Phosphorescenz dauert ebenso, wie die durch Bestrahlung, auch fort, wenn man die Körper (wenn sie nur nicht auflöslich sind) in Wasser, Weingeist oder Olivenöl eintaucht.

HEINRICH sucht zu beweisen, dafs nicht eine dauernde Elektrisirung dieser Substanzen sie fähig machte, zu leuchten oder das elektrische Licht, wie elektrisirte Körper es unter gewissen Umständen thun, ausströmen zu lassen, sondern dafs sie blofs, weil sie dem Lichte ausgesetzt gewesen waren, leuchteten. Dieser Beweis ist zwar nicht ganz vollständig, indefs sprechen die vielen Uebereinstimmungen zwischen diesen Erscheinungen und denen durch Bestrahlung allerdings dafür.

8. Von selbst entstehende Phosphorescenz der Körper des Thier- und Pflanzenreichs.

Die Erfahrungen und Versuche sind hier zahlreicher und selbst dem gewöhnlichen Beobachter bietet sich dieses Leuchten dar; da indefs auch hier HEINRICH theils gesammelt hat, was schon bekannt war, theils durch eine mit grofsem Fleifse angestellte Beobachtungsreihe mehr geleistet hat, als irgend ein anderer, so werde ich von seinen Versuchen vorzüglich reden.

Er fand, dafs bei allen einheimischen gröfseren Baumarten sowohl das Stammholz, als auch das Holz der Aeste, die innere Seite der Rinde und die Wurzel leuchtend wird; das Holz der Erle und Weide, der Tanne (*pinus strobus*) und Föhre (*pinus*

silvestris) schien den Vorzug unter den Hölzern zu haben und die Wurzel der Tanne zeigte sich unter den Wurzeln am vorzüglichsten. Die Pfahlwurzeln hochstämmiger Bäume sind, schon ehe man eine Fäulniſs bemerkt, schön leuchtend, vorzüglich an der unter der Rinde liegenden Oberfläche, aber auch nach dem Zerspalten an jeder durch das Spalten hervorgebrachten Oberfläche; man kann sich, indem man solche Wurzelstücke von Rothtannen, Weiſstannen oder Eichen an einem feuchten Orte aufbewahrt, leuchtende Stücke fast zu jeder Zeit verschaffen. So lange noch kein bemerkbarer Grad von Fäulniſs an manchen leuchtenden Holzstücken wahrnehmbar und der Baum noch im gesunden Wuchse ist, findet man keinen seiner Theile leuchtend und auch in den Wurzeln des abgehauenen Baumes, dessen Wurzelstock noch in der Erde bleibt, entsteht die Phosphorescenz nicht, wenn noch mit hinreichender Lebenskraft neue Zweige hervorbrechen; dagegen ist die Wurzel zum Leuchten fähig, wenn sich nach dem Abhauen nicht genug Reproductionskraft zum Hervortreiben neuer Zweige zeigt und sie dann eine hinreichende Zeit in der Erde gewesen ist; herausgenommen zeigt sie dann entweder gleich, oder im feuchten Raume aufbehalten nach einiger Zeit, eine Phosphorescenz. Hat diese nach einer kürzeren oder längeren Dauer aufgehört, so kann man durch Abschneiden der äuſseren Schichten, wenn man die neue Oberfläche befeuchtet, meistens die Erneuerung des Leuchtens bewirken. Nach Heinrich's Erfahrungen kann man bei frisch aus der Erde gegrabenen Wurzeln, die sich übrigens in dem zum Leuchten angemessenen Zustande befinden, das Leuchten Monate lang erhalten und wieder hervorbringen, wenn man auf die angegebene Weise verfährt. Ist das Holz schon sehr in Fäulniſs übergegangen, so leuchtet es am schönsten, aber diese Periode ist schnell vorübergehend, und obgleich das Anfeuchten noch wohl das Licht wieder herstellt, so ist es doch auch dadurch nicht möglich, es lange zu unterhalten. Das sehr schöne, weiſse Licht, welches ein solches Holz von sich giebt, so hell, daſs man sich fast nicht überzeugen kann, daſs es ohne Wärme so schön leuchte, ist gewiſs vielen meiner Leser bekannt, da man so oft zufällig solches leuchtendes Holz antrifft. Daſs man nur selten so schön leuchtendes Holz findet, scheint vorzüglich darauf zu beruhen, daſs die Periode dieses guten Phosphorescirens kurz ist und daſs selbst ein Holz, das dem leuchtenden

ganz gleich scheint, oft diese Eigenschaft dennoch nicht oder nur in sehr schwachem Grade besitzt. Heinrich fügt noch hinzu, daſs die von innen anfangende Fäulniſs sehr langsam bis nach auſsen fortschreitet und daſs selten ein Stamm so lange stehen bleibt, bis diese langsame Fäulniſs seine Oberfläche erreicht. Zuweilen leuchtet ein abgehauener Baumstumpf in allen Theilen seiner Masse; dann ist das Holz ganz gebleicht, morsch und zerreiblich.

Feuchtigkeit ist eine zum Leuchten des Holzes nothwendige Bedingung, daher man auch das durch Austrocknen untauglich zum Leuchten gewordene Holz, wenn es vorher gut leuchtete, durch Befeuchten oft noch wieder phosphorescirend machen kann und durch Einwickelung in Papier es länger leuchtend erhält. Ganz unter Wasser getaucht hört es, nach längerer oder kürzerer Zeit, zu leuchten auf, indem es offenbar durch Auslaugen die zur Phosphorescenz erforderlichen Bestandtheile verliert. Auf die Temperatur der umgebenden Luft kommt es nicht sehr an, wenigstens bei der Eiskälte dauert das Leuchten fort. Hulme fand, daſs das Holz bei der durch eine künstliche Eismischung bewirkten Kälte zu leuchten aufhörte.

Heinrich hat gut leuchtendes Holz in allerlei verschiedene Medien gebracht und Folgendes gefunden. Unter Wasser und unter Quecksilber dauerte das Leuchten 24 Stunden, unter Oel 12 Stunden, unter Weingeist und Schwefeläther nur 10 bis 30 Minuten, ohne Zweifel, weil diese Flüssigkeiten das Wasser und die harzigen Theile des Holzes in sich aufnehmen und also den Zustand des Holzes sehr verändern. Säuren heben in kurzer Zeit das Leuchten auf. Daſs die atmosphärische Luft das Leuchten befördert, schlieſst Heinrich daraus, daſs gleiche Stücke Holz, im gesperrten luftvollen Raume und in freier Luft beobachtet, ungleich lange leuchteten, das im gesperrten Raume kürzere Zeit; das im gesperrten Raume schon erloschene Holz fing, nach einigem Zeitverlaufe, wieder an zu leuchten, wenn man Luft zutreten lieſs. Indeſs leuchtete das Holz auch in sehr verdünnter Luft fort und in Sauerstoffgas nicht merklich stärker. In Stickgas leuchtete das Holz 12 bis 24 Stunden, statt daſs es in freier Luft 6, auch wohl 9 Tage zu leuchten pflegte; in Wasserstoffgas verhielt es sich ungleich, zuweilen erlosch es sehr bald; in Kohlensäure leuchtete es nicht über 20 Minuten, in Salpetergas nicht über 7 Minuten. Eine Verminderung des Sauer-

stoffgases durch das darin leuchtende Holz war nicht merklich [1]. Hulme fand, dafs Erwärmung das Licht verstärkte, aber seine Dauer abkürzte [2].

Dafs auch andere Pflanzentheile zuweilen leuchten, Kartoffeln, die Keime zu treiben anfangen, und drgl. [3], ist oft bemerkt worden. Auch lebendige Pflanzen leuchten. Gilbert sah ein Moos in einer feuchten Höhle mit grünlichem Lichte phosphoresciren [4]. Von Derschau, von Laroche und Gerhard sahen eine Species der Rhizomorphe in Bergwerken sehr schön leuchten, jedoch mufste das Auge schon geraume Zeit im Dunkeln gewesen seyn [5].

Ueber das Blitzen ähnliche Leuchten einiger Pflanzen hat man sehr wenige Beobachtungen, so dafs man glauben mufs, es trete sehr selten ein [6]. Ein Beispiel einer Pflanze, deren milchiger Saft im Dunkeln stark leuchtete, führt Mornay an [7]; diese Pflanze, die er, ohne einen eigentlich botanischen Charakter, der diesen Namen rechtfertigt, anzugeben, Euphorbium nennt, wächst in Brasilien und ihr Saft ist giftig.

Ueber das Leuchten der thierischen Körper sind zahlreiche Beobachtungen angestellt worden. Sehr viele thierische Substanzen zeigen sich vor dem Uebergange in Fäulnifs, wenn sie nämlich erst anfangen, der Fäulnifs entgegen zu gehen, und noch als vollkommen brauchbar angesehen werden, leuchtend. Nach Martin's Beobachtungen leuchten nur die Seefische immer, wenn man sie nach dem Tode einige Tage aufbehält [8]; unter Flufsfischen konnte Heinrich nur sehr selten einen Fall, wo das Leuchtendwerden glückte, erhalten, obgleich Dessaignes angiebt, dafs sie, mit salzigem Wasser befeuchtet, bei warmer

---

1 G. III. 83. I. 33.

2 G. XII. 152.

3 Lichtenberg's verm. Schriften. V. 451.

4 G. XXX. 242.

5 Schweigger's Journal. XXXIX. 259. XLIII. 203. XLIV. 65. Andere leuchtende Pflanzen sind erwähnt in Edinb. philosoph. Journ. XXI. 232. und Botan. Zeitung 1823. S. 123.

6 Von Göthe zur Farbenlehre. I. 21. Heinrich S. 338.

7 G. LVI. 368.

8 Martin's Beob. Schwed. Abh. XXIII. 224. und Hulme's Beob. G. XII. 129. 292. hat Heinrich benutzt.

Luft zwar schwerer als die Seefische, aber doch oft genug leuchtend werden. Die Seefische (es scheint, man dürfe sagen, alle) werden ungefähr am zweiten Tage nach dem Tode leuchtend; diese Phosphorescenz, die bei den Augen anfängt, erstreckt sich nach und nach auf immer mehr Theile und dauert mehrere Tage lang fort; sie leuchten nur so lange, als sie feucht sind, und an den vorragenden Spitzen zeigt sich das Licht am schönsten. Ihr Leuchten findet, wenn sie in kaltem Wetter transportirt werden, noch 14 Tage nach dem Tode, ja noch länger statt, wenn sie nicht schon in dieser Zeit merklich in Fäulnifs übergehen. Nach Hulme's Beobachtungen nimmt das Leuchten zwar in den ersten Tagen zu, aber nach wenigen Tagen nimmt es ab, sobald die Fäulnifs erheblich zu werden anfängt. Die Substanz, welche das Leuchten hervorbringt, läfst sich durch Abwaschen oder durch längeres Aufbehalten im Wasser, das etwas gewöhnliches Salz oder Bittersalz enthält, dem Wasser mittheilen, welches dadurch leuchtend wird. Rogen von Häringen und Rogen von Makrelen, so auch Häringsmilch zeigte sich hierbei besonders brauchbar. Alle Theile des Fisches, das Fleisch sowohl als auch die äufsern Theile, wurden leuchtend; doch räth Hulme, die Eingeweide auszunehmen und die Schuppen abzuschaben. Mehrere Salze haben die Eigenschaft, das Licht etwas länger dauernd zu machen, und sind daher geeignet, mit dem Wasser, worin man die leuchtende Substanz auflöset oder sich zertheilen läfst, gemischt zu werden, z. B. Glaubersalz, Rochellesalz, Salpeter, Kochsalz u. s. w. Andere Mischungen dagegen zerstören dieses Licht. Hulme führt auch das Wasser für sich allein als das Leuchten zerstörend an; dieser Behauptung scheint ein Versuch von Heinrich, der ausdrücklich angiebt, dafs die leuchtende Substanz sich mit den Fingern abwischen und dann im Wasser so auflösen liefs, dafs das ganze Wasser leuchtete, zu widersprechen, indefs waren Heinrich's Versuche mit Fischen angestellt, die wohl ohne Zweifel gesalzen ankamen, da sie 14 Tage auf der Reise zubrachten. Ein stärkeres Einsalzen hebt aber die Eigenschaft, leuchtend zu werden, völlig auf. Folgende Körper heben das Leuchten sehr bald auf, wenn man die leuchtende Materie hineinthut; ungelöschter Kalk, kohlensaures oder auch Schwefellebergas in Wasser, gegohrene Säfte, spirituöse Flüssigkeiten, Säuren, Alkalien in Wasser aufgelöst, gesättigte Auflösungen von Salz in Wasser, Aufgüsse auf Chamil-

lenblumen, Campher und drgl. Aber wenn man sehr viel Salz in Wasser aufgelöst und dadurch das Leuchten aufgehoben hat, so tritt es wieder hervor, wenn man die Auflösung mit hinreichendem Wasser verdünnt. Bewegung der Flüssigkeit befördert das Leuchten, und dieses so sehr, daſs ein in der Flüssigkeit fortbewegter Stab einen leuchtenden Strich hervorbrachte, als das Wasser ruhend nicht mehr leuchtete. Schütteln des Gefäſses machte das Wasser noch schöner leuchtend. Als Hulme die leuchtenden Theile von Fischen in einem Gefäſse in eine Mischung aus Schnee und Seesalz setzte, hörten sie auf zu leuchten, aber beim langsamen Aufthauen kehrte das Licht wieder. Hitze bringt ein Aufhören des Leuchtens hervor, daher auch die gekochten Fische in der Regel nicht leuchten; doch sah Heinrich einmal die Gräten eines gekochten Kabeljaues leuchten und glaubt, die Kochhitze sey nicht bis zu den Gräten gedrungen. Mäſsige Erwärmung eines leuchtend gemachten Wassers verstärkt das Leuchten, wenn man aber zu der leuchtenden Flüssigkeit nach und nach kleine Quantitäten kochend heiſsen Wassers bringt, so verstärkt sich nur zuerst das Leuchten, bei den folgenden Quantitäten nimmt es ab und hört bei etwa 30° R. auf. Wurde das in einer Röhre enthaltene leuchtende Wasser, worin bei längerer Ruhe das Leuchten nur oben statt fand, unten stark erwärmt, so stiegen die leuchtenden Theile in schön glänzenden Strömen herab und erloschen allmälig.

Nach Heinrich's Behauptung bleibt das Leuchten in atmosphärischer und in Sauerstoffluft gleich, aber doch schien der Zutritt der Luft das Leuchten zu bewirken, indem ein frisch gemachter Schnitt erst nach einigen Stunden leuchtend wurde. In Stickgas blieben die schon leuchtenden Stücke lange Zeit leuchtend, aber vor dem Leuchtendwerden in Stickgas gebracht schienen die Stücke nicht so schnell und nicht so gut zum Leuchten zu kommen. Im Wasserstoffgas und im geschwefelten Wasserstoffgas, in kohlensaurem Gas und Salpetergas wurde kein frisch hineingebrachter Fisch leuchtend und das schon entwickelte Fischlicht erlosch darin früher, als in atmosphärischer Luft, indeſs kehrte das Leuchten in letzterer meistens zurück, wenn man die Körper länger im Freien lieſs.

Auch Fleisch von Säugethieren wird zuweilen leuchtend und es läſst sich die fette Substanz, welche vorzüglich hierzu beiträgt, mit den Fingern so abwischen, daſs auch diese leuch-

tend werden. Man findet Nachrichten von menschlichen Leichnamen, die leuchtend waren [1]. Indefs müssen alle diese Erscheinungen doch wohl von selten zusammentreffenden Umständen abhängen, da wir Fleisch in gutem und in halbverdorbenem Zustande so unzählig oft zu beobachten Gelegenheit haben und doch die Fälle, wo man ein Leuchten bemerkt hat, sehr selten sind, da aber, wo sie eintraten, so auffallend waren, dafs sie allgemeines Aufsehen erregten. Dieses Leuchtendwerden scheint zuweilen bei halbverdauten thierischen Stoffen statt zu finden und mag dann, wie Benzenberg vermuthet, zu der Meinung, dafs Sternschnuppen herabfielen, Veranlassung gegeben haben [2].

Das Leuchten lebendiger Thiere ist eine bei gewissen Thierarten regelmäfsig vorkommende Erscheinung. Vor allen haben die Johanniswürmchen und Johanniskäfer (jenes das Weibchen, dieses das Männchen der *Lampyris noctiluca*) zu vielen Untersuchungen Veranlassung gegeben. Spallanzani, Hulme, Heinrich, Razumowski verdienen hier vorzüglich genannt zu werden [3].

Das kriechende Johanniswürmchen leuchtet vorzüglich an den letzten Ringen des Unterleibes und dieser Glanz dauert in der Freiheit ununterbrochen fort. Spallanzani bemerkt, dafs sie in der Gefangenschaft den Glanz nicht immer zeigen und selbst, wenn man sich ihnen nähert, also vermuthlich bei einem Geräusche, ihn unterbrechen. Wenn man das Thier zwischen den Fingern festhält, so zeigt es lange Zeit keinen Glanz, dann aber tritt dieser blafsbläuliche Glanz ein und wird wieder unterbrochen, ohne regelmäfsige Zeitfolge. Bei den Johanniskäfern oder den fliegenden Johanniswürmchen ist es der Bauch, welcher sich leuchtend zeigt. Zwar erscheint, wie Spallanzani sagt, die ganze Haut am Bauche etwas glänzend, aber man sieht doch nur einzelne vorzüglich helle Puncte, und bei genauer Betrachtung der abgelösten Haut sieht man mit dem Mikroskope in ihr kleine Oeffnungen, die offenbar die innern leuchtenden Theile mit der Luft in Verbindung setzen. Verletzt man die Thierchen mit einem Nadelstiche, so sieht man die leuchtende

---

1 Heinrich S. 332. G. XIV. 501.

2 Benzenberg und Brandes über die Sternschnuppen. Hamburg 1800. S. 86.

3 G. I. 33. XII. 151. Mém. de la soc. de Lausanne. II.

Materie hervortreten; diese besteht, wenn man sie im Wasser zertheilt, aus weifsen, halbdurchsichtigen Kügelchen, die aber sehr an Licht abnehmen, wenn man sie vereinzelt. Im Freien zeigen die fliegenden Johanniswürmchen nicht einen immer gleichen Glanz, sondern ihr bläulich grünliches Licht verstärkt sich zuweilen und nimmt zuweilen ab. Spallanzani scheint[1] den fliegenden Johanniswürmchen die Fähigkeit, nach Willkür das Licht zurückzuhalten, abzusprechen; aber er bemerkt doch, dafs bei den fliegenden sowohl, als den kriechenden eine zitternde Bewegung der das Licht aussendenden Theile das Leuchten verstärkt und dafs diese zitternde Bewegung und damit auch das Funkeln des Lichtes aufhöre, wenn man die fliegenden Johanniswürmchen viel betaste, dabei aber bleibe dennoch ein matterer Glanz übrig. Diese Johanniskäfer behalten bis zum Tode und selbst nach dem Tode, so lange der Körper noch weich ist, ihr Leuchten, aber am lebhaftesten ist es, so lange sie in voller Kraft sind. Jene zitternde Bewegung der Bauchtheile verstärkt offenbar das Licht und selbst bei den eben erst sterbenden Käferchen bemerkt man, dafs, so lange noch die Zitterungen mit dem Mikroskope wahrgenommen werden können, ihr Licht lebhafter ist, als bei denen, wo dieses schon aufgehört hat. Auch nach dem Tode verdoppelt sich der noch fortwährende Glanz, wenn man mit der Nadel in den leuchtenden Theil sticht.

Spallanzani behauptet, der Glanz verstärke sich im Sauerstoffgas; aber dieses leugnet Heinrich, der jedoch ebenfalls bemerkt, dafs in nicht athembaren Gasarten das Licht erlösche und beim Zusatz atmosphärischer Luft wiederkehre. Spallanzani bemerkt dabei, dafs die nicht athembaren Luftarten zwar das Thier nicht tödten, aber ihm doch die Lebensthätigkeit in hohem Grade rauben, statt dafs die Thiere im Sauerstoffgas viel lebhafter sind; aber da auch auf den von dem Thiere getrennten leuchtenden Theil die Einwirkung dieser Luftarten sich eben so zeige, so könne man nicht in der erhöhten Lebensthätigkeit allein den Grund dieser Aenderung suchen. Indefs Heinrich stimmt hiermit nicht überein.

Bei einer durch Schnee hervorgebrachten Kälte erstarrten die in einer Glasröhre enthaltenen Johanniswürmchen, aber ihr Licht dauerte dennoch fort, bis durch Beimischung von Koch-

1 G. I. 47.

salz die Kälte des Schnees, der die Röhre umgab, bis auf etwa — 6° ging; dann hörte das Leuchten auf, stellte sich aber bei der Erwärmung, obgleich diese das Thier nicht wieder ins Leben rief, wieder ein. Spallanzani hat einen ähnlichen Versuch in Sauerstoffgas wiederholt und das Erlöschen schon bei 0° eintretend gefunden.

Im Wasser leuchten die Johanniswürmchen ungeändert fort, und wenn auch das gewöhnliche Leuchten des Thieres aufhört, so kann man doch an den Stellen, die man mit einer Nadel aufreizt, immer wieder ein Leuchten hervorbringen und selbst eine halbe Nacht hindurch die Erscheinung erneuern, wobei die Thierchen oft noch fähig bleiben, sich in freier Luft wieder zu erholen und munter zu zeigen.

Hulme hat gefunden, daſs auch eine bis auf 36° R. gehende Wärme des Wassers das Leuchten der schon todten Johanniswürmchen nicht aufhebt, sondern verstärkt; selbst bei der Eintauchung der Röhre, worin die todten Thiere enthalten waren, in siedendes Wasser verstärkte sich das Licht. Aber kochendes Wasser auf das Thier gegossen machte das Licht erlöschen [1].

Nach Macaire's an der *Lampyris splendidula* angestellten Beobachtungen [2] hat das am Tage auf das Thier wirkende Sonnenlicht einen Einfluſs auf das nächtliche Leuchten, indem die in eine undurchsichtige Schachtel eingeschlossenen Thierchen auch bei Nacht nicht viel Licht gaben, statt daſs eine Schachtel mit Glasdeckel, am Tage der Sonne ausgesetzt, die Hervorbringung des Lichtes nicht hinderte. Eine von 20° bis 33° R. steigende Temperatur erhöht bei dieser Species den Glanz des Leuchtens; bei einer etwas höhern Temperatur stirbt, wenigstens im Wasser, das Thier, leuchtet aber dennoch fort; bei 10° R. hört das Leuchten auf. In den Volta'schen Strom gebracht fangen selbst die Theile des todten Thieres, die schon zu phosphoresciren aufgehört haben, wieder an zu leuchten.

Die übrigen Insecten und Würmer, die auf dem festen Lande leben und als leuchtend beobachtet worden sind, alle anzugeben, würde hier zu weitläuftig seyn; Heinrich giebt [3] von

---

1 Schweigger's Journ. XXX. 233.

2 G. LXX. 265.

3 A. a. O. S. 373.

ihnen Nachricht. Jedoch verdienen angeführt zu werden: der Surinamische Laternenträger (*fulgora lanternaria*), von welchem Blumenbach erzählt, dafs die Wilden sich seiner bei nächtlichen Reisen als Leuchte bedienen, und der Regenwurm, den man zuweilen im October leuchtend gefunden hat; er leuchtete bläulich über den ganzen Körper und blieb mehrere Tage leuchtend.

Die leuchtenden Seethiere sind schon deswegen merkwürdig, weil sie hauptsächlich das auffallende Phänomen des Leuchtens des Meeres bewirken. Das Leuchten des Meeres kommt auch in unsern Gegenden vor; das Wasser der Elbe an ihrem Ausflusse wird zuweilen leuchtend gesehn; von der Ostsee erzählt Wässström [1] umständlich, dafs diese Erscheinung zuweilen die abergläubischen und mit dem Phänomene unbekannten Uferbewohner in Schrecken setze. In der Ostsee zeigt sich dieses Leuchten bis zum November hin und Wässström ist sogar geneigt, es den entstehenden kleinen Eisnadeln zuzuschreiben. Nach seiner Erzählung ist das Phänomen bei grauem Himmel und einigen Graden Kälte am öftersten zu sehen; er glaubt daher, man müsse es nicht für einerlei mit dem in heifsen Klimaten durch Seethierchen entstehenden Leuchten des Meeres halten, wenn auch vielleicht schleimige, sich auflösende Substanzen mit dazu beitragen könnten. Hiermit stimmt indefs Pfaff nicht überein, der die Erscheinung auch hier einzig leuchtenden Thierchen zuzuschreiben geneigt ist, welche durch Reizungsmittel, z. B. Ammoniak, Säuren, Elektricität, auch leuchtend werden. Wässström's Behauptung, dafs dieses Leuchten unruhiges Wetter zur Folge habe, kann ich weder als völlig beglaubigt, noch auch als widerlegt nachweisen.

Dafs in den Meeren der wärmern Klimate vorzüglich leuchtende Thierchen es sind, die das Meer leuchtend machen, ist wohl als sehr vollständig erwiesen anzusehen. Dafs dieses Leuchten am glänzendsten in bewegtem Wasser ist und vorzüglich hinter dem Schiffe, wo das Wasser durch das Schiff in Bewegung gesetzt ist, sich lebhaft zu zeigen pflegt, läfst sich leicht aus dem Umstande, dafs diese Thierchen, wenn sie sich bewegen, am lebhaftesten leuchten, erklären. Dafs bei einer stillen, warmen, gewitterhaften Luft dieses Leuchten in vorzüg-

---

1 Schwed. Abhandl. für 1798.

licher Stärke eintritt, scheint ebenfalls nur von der Einwirkung günstiger Umstände auf die Lebensthätigkeit der Thierchen abzuhängen, und es ist daher wohl kein Grund vorhanden, um die Elektricität, wie so oft geschehen ist, bei diesem Phänomene zu Hülfe zu rufen. Eher könnten die dem Wasser beigemischten, vielleicht von jenen leuchtenden Thierchen schon getrennten leuchtenden Theilchen auch dasjenige Wasser leuchtend machen, worin sich keine lebende Thierchen befinden.

Nach Spallanzani tragen gewisse Arten der Medusen sehr viel zu diesem Leuchten bei und können, wo sie zahlreich vorhanden sind, ein Leuchten, welches das Auge blendet, hervorbringen. Bei der Zusammenziehung und Ausdehnung, die sie immer wiederholt als willkürliche Bewegung zeigen, verstärkt sich ihr Leuchten, und da es selbst tief unter dem Wasser noch sichtbar bleibt, so läſst sich wohl einsehen, daſs das Meer als in seiner ganzen Masse leuchtend durch sie erscheinen kann. Ihre innern Theile leuchten so sehr, daſs sie in Wasser zerdrückt das Wasser leuchtend machen. Auch v. Grotthuss hat im Mittelländischen Meere die Phosphorescenz beobachtet und sich dadurch, daſs er das mit leuchtenden Körpern bedeckte, aus dem Meere hervorgezogene Holz mit Alkohol beträpfelte, es dadurch (vermöge des plötzlichen Reizes) schöner aufglänzen, dann aber für immer erlöschen sah, davon zu überzeugen geglaubt, daſs dieses Leuchten von lebenden Thierchen herrühre[1].

Banks, Macartney, Tilesius und Andere haben theils noch manche einzelne Phänomene, die bei dem Leuchten des Meeres vorkommen, angegeben, theils die Arten von Thieren genauer bestimmt und abgebildet, die man in dem leuchtenden Wasser gefunden hat[2]. Was das Letztere betrifft, so verweile ich dabei nicht; von den Umständen des Leuchtens theile ich dagegen noch Einiges mit.

Nach Horsburgh's Erzählung sieht man in den heiſsen Gegenden zuweilen das Meer nicht glühend, sondern weiſs, wie mit beschneitem Eise bedeckt, und auch dieses rührt, nach Tilesius, von Thierchen her, die während ihrer Ruhe nur dieses milde Licht verbreiten. Aber andere Körper, namentlich einige Krebse und der Salpeter-Eierstock, geben ein sehr feuriges

---

1 Schweigg. Journ. XIV. 187.

2 Abbildungen findet man in G. LXI. Taf. 1.

Licht, das bei der Bewegung zunimmt; dieses Leuchten der Thiere nimmt zu, wenn die Thiere die Respirationsbewegung schneller vollenden[1].

Von andern leuchtenden Thieren ist nur wenig zu bemerken. Lebende Fische und Amphibien werden nur selten leuchtend gefunden, doch leuchten die Eier der Eidechsen[2]. Ein Leuchten des Schweifses und Urins von Menschen kommt zuweilen, doch selten vor[3]. Dafs endlich auch das Glänzen einiger Thieraugen, namentlich des Katzenauges bei Nacht unter diese Erscheinungen des Phosphorescirens zu rechnen sey, jedoch nur in den seltenen Fällen, wo kein reflectirtes Licht in Betrachtung kommen kann, ist mindestens wahrscheinlich[4]. Nach Heinrich's Beobachtung[5] kommt es bei jungen Katzen gar nicht vor und hängt bei den erwachsenen von der Willkür und von aufgeregtem Zorne und dergleichen ab.

Heinrich hat sich viele Mühe gegeben, diese verschiedenen Arten der Phosphorescenz der Pflanzentheile, so wie der lebenden Thiere und der Theile todter Thiere zu erklären. Die wichtigste unter seinen Bemerkungen, die auch von andern bestätigt worden, ist wohl die, dafs, so geringe auch die hierbei erforderliche Quantität von Sauerstoffgas nur zu seyn braucht, doch dieses Leuchten nicht ganz ohne Zutritt desselben statt zu finden scheint. Ob die Gegenwart von Phosphor so leicht in allen Fällen nachzuweisen ist, wie Heinrich glaubt, scheint mir nicht zu erhellen, und Heinrich scheint bei seinen Erklärungen nicht daran zu denken, dafs, wenn die Gegenwart des Phosphors in einer Substanz allein hinreichte, um das Leuchtendwerden zu bewirken, alle die Gegenstände immer leuchten müfsten, aus welchen sich Phosphor bereiten läfst, indem wenigstens nicht nachgewiesen ist, ob und wie er in den leuchtenden Körpern in einem andern, minder gebundenen Zustande vorhanden ist, als in denen, welche nicht leuchten.

---

1 Krusenstern's Reise. 4 Th. G. LXI. 40.

2 Schweigger's Journ. XXX. 233.

3 G. XLIX. 291. Heinrich S. 384.

4 Treviranus Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge. Hft. I. S. 75.

5 S. 384.

9. Phosphorescenz bei der Krystallisation.

Es sind viele einzelne Fälle bekannt, wo die Entstehung der Krystalle mit Lichterscheinung begleitet ist, aber man ist, so viel ich weiſs, noch nicht dahin gelangt, die Fälle, wo dieses statt findet, unter bestimmte Gesetze zu bringen. Ich kann daher hier nur einzelne solche Fälle zusammenstellen und unter ihnen werde ich einige etwas genauer erzählen. Schiller calcinirte eine aus *Cremor Tartari, Tartarus vitriolatus* und Kochsalz bestehende Salzmasse. Als diese ausgegossene Salzmasse sich abkühlte, sah er bei dem Abspringen kleiner Blättchen oder gröſserer Stückchen ein Leuchten. Eben ein solches Leuchten zeigte sich auch, als dieses Salz aufgelöst war und sich dann Krystalle bildeten[1].

Giobert hatte Glaubersalz vermittelst kohlensauren Kali's zersetzt und die Flüssigkeit zum Abdampfen hingestellt, um das schwefelsaure Kali zu krystallisiren. Als einige Krystalle gebildet waren und er die Flüssigkeit abgoſs, leuchtete das ganze Gefäſs, und wenn dieses aufhörte, brachte jede Berührung der Krystalle mit einem Stäbchen es im reichsten Maſse wieder hervor. Dieses Leuchten erschien nur, wenn die Krystalle noch mit einiger Feuchtigkeit umgeben waren, auch nur bei einem kalten Krystallisiren, und am besten, wenn die freie Oberfläche ziemlich groſs war. Eine Auflösung ohne Krystalle leuchtete nicht. Elektricität war nicht dabei zu bemerken.

Buchner sublimirte Benzoesäure mit Kohlenpulver gemischt in einem hohen Glascylinder auf einem geheizten Ofen; sobald die Sublimation anfing, zeigte sich im Innern des Cylinders ein ununterbrochenes Funkensprühen. Es war eine Menge Benzoesäure aufgestiegen, die derjenigen, welche man auf anderem Wege erhalt, vollkommen glich; aber obgleich bei ähnlichen Versuchen die Krystalle noch schöner wurden, so fand doch das Leuchten nicht statt. Buchner glaubt, ein zu hoher Grad der Hitze sey die Ursache jenes Phänomens gewesen[2]. Hermann hatte eine schwefelsaure Kobaltauflösung mit Kali vermischt bei

1 Schweigger's Journ. XL. 272.

2 Ebend. XLI. 226.

— 12° Kälte der Krystallisation unterworfen. Als er darauf die Mischung ins Zimmer nahm und die Lauge abgoſs, sprühte das Gefäſs Funken. Fuchs sah ein Leuchten beim Erstarren des phosphorsauren Bleies, welches bei Entstehung der krystallinischen Form weiſsglühend erschien[1].

Schweigger und Buchner sind geneigt, diese Erscheinungen einer frei werdenden Elektricität zuzuschreiben und den Umstand, daſs bei Buchner's Versuche die Krystalle zu leuchten aufhörten, wenn sie sich an das Glas anlegten, daraus zu erklären, daſs dann kein freies Ausströmen der Elektricität mehr statt gefunden habe.

10. Phosphorescenz bei plötzlich veränderter Dichtigkeit der Luft und bei plötzlichem Drucke auf weniger elastische Flüssigkeiten.

Wenn man in einer Röhre durch einen plötzlichen Stoſs vermittelst eines dicht schlieſsenden Kolbens die atmosphärische Luft stark verdichtet, so wird nicht bloſs Hitze genug hervorgebracht, um Zündschwamm zu entzünden, sondern man sieht, wenn die Röhre von starkem Glase ist, auch eine Lichterscheinung[2]. Dieses Licht wird am auffallendsten, wenn man eine Mischung aus Sauerstoffgas und Wasserstoffgas durch einen plötzlichen Stoſs comprimirt, wodurch sie zugleich zur Explosion gebracht wird[3]. Sauerstoffgas allein dient besser als atmosphärische Luft zur Hervorbringung der Entzündung[4]. Da die

---

1 Schweigger's Journ. XL. 75. Andere Beispiele in Ann. de Ch. et Ph. XXXII. 333. Schweigger's Journ. XLI. 231. Heinrich S. 476. Poggend. Ann. VII. 535. Wässström's Bemerkung, daſs Eisnadeln bei ihrem Entstehen vielleicht das in kalten Herbsttagen beobachtete Leuchten der Ostsee hervorbringen könnten, gehört hierher, obgleich ich nicht finde, daſs er eigentliche Beweise für diese Meinung anführt. Schwed. Abh. für 1798.

2 G. XXX. 277. XXIX. 328. Vergl. *Feuerzeug, pneumatisches.* Bd. IV. S. 232.

3 G. XX. 102.

4 G. XXX. 279.

Phänomene der Wärme hierher nicht gehören, so führe ich sie nicht genauer an.

Die durch Compression entstehende Lichterscheinung, bei der man an ein Freiwerden des Wärmestoffs durch Verdichtung denken und damit das Leuchten in Beziehung setzen kann, steht ohne Zweifel in einer wohl noch nicht aufgeklärten Verbindung mit den Erscheinungen, wo Licht bei plötzlicher Ausdehnung der Luft entsteht. Biot hat beobachtet, daſs sich ein im Dunkeln sehr glänzendes Licht zeigt, wenn man Glaskugeln, mit Sauerstoffgas gefüllt, im luftleeren Raume zerbricht[1]. Dessaignes und früher schon Parcieux beobachteten ein lebhaftes Licht im Dunkeln, als der Druck der äuſsern Luft eine Blase, unter welcher die Luft ausgepumpt war, zersprengte[2]. Man hat die letzte Erscheinung aus einem momentanen Zusammendrücken der in den luftleeren Raum eindringenden Luft erklärt; aber diese Erklärung scheint auf die erste Erscheinung nicht zu passen. Das beim Zersprengen der Knallbomben entstehende Licht, welches sich von allen Seiten gegen die beim Fallen auf den Boden zerschlagene gläserne Knallbombe hinzustürzen scheint, ist offenbar ein ganz ähnliches Phänomen[3].

Das bei dem Abschieſsen einer Windbüchse im Dunkeln oft beobachtete Licht muſs hier ebenfalls erwähnt werden, wenn es gleich nicht allein von der veränderten Dichtigkeit der Luft abzuhängen scheint. Die Erscheinung besteht darin, daſs man beim Abschieſsen einer Windbüchse im Dunkeln aus der Mündung des Röhres einen Lichtbüschel hervorkommen sieht, der über einen halben Fuſs lang seyn kann, aber immer nur von augenblicklicher Dauer ist. Unter den vielen hierüber angestellten Versuchen will ich nur bei denen von Heinrich und Hart verweilen.

Heinrich bemerkt, daſs nur bei starken Ladungen das Licht hervorgeht und daher, wenn man mit der durch die ersten Schüsse schon geschwächten Ladung mehrere Schüsse hinter einander thut, das Licht meistens schon bei der dritten Entladung ausbleibt. Nicht alle Windbüchsen zeigten sich gleich

---

1 Edinburgh philos. Journ. N. 1. p. 209. Gren's Journ. VIII. 21.

2 G. XLIX. 310. LI. 112. Gren's Journal. VIII. 20. Heinrich a. a. O. S. 434.

3 G. LI. 112.

geneigt, das Licht hervorzubringen, doch entstand es, der Lauf mochte ganz von Stahl oder mit Blei gefüttert seyn, der Schuſs mochte mit oder ohne Kugel statt finden; ein zu weiter Lauf hinderte die Entstehung des Lichtes, und wenn man die Luft ohne einen Lauf anzubringen hervordringen lieſs, so erschien gewiſs kein Licht. Ein gläserner Lauf zeigte die Erscheinung weit besser, als ein metallener, und eine nach dem Laden einige Zeit in der Wärme hingestellte Windbüchse zeigte sie ebenfalls besser.

Hart erzählt [1], der Versuch habe ihm lange nicht gelingen wollen, obgleich er ihn mit feuchter und trockener, warmer und kalter Luft anstellte; endlich habe er die Lichterscheinung zu Stande gebracht, indem er einen Pfropf anwandte, was er vorher nicht gethan hatte. Er fand nun, daſs der Versuch allemal gelang, wenn man Seide, Tuch, Federn, Gummilack anwandte; wenn man Glas in den Lauf brachte, so stellte sich zuweilen ein vorzüglich schöner Lichtstrahl mit grünlichem Lichte dar. Die weitern Versuche zeigten, daſs man auch ohne Pfropfen den Lichtblitz erhalten könne, wenn zufällig oder absichtlich Sand, Quarz oder andere harte Körper, die beim Reiben Licht geben, in den Lauf gekommen waren. Selbst wenn man Sand, Fluſsspath, Zucker auch nur vor das Rohr hielt, so zeigten sie sich bei dem sie treffenden Schusse leuchtend. Ganz reine Seide zeigte dagegen keinen Erfolg und er schloſs daher, daſs die Reibung harter Körper am Rohre die Ursache dieses Lichtes sey. Ob diese Ansicht die richtige sey oder ob man, wie Muncke vermuthet [2], auch diesen Umstand bloſs aus der verstärkten Verdichtung der Luft bei dem Stoſse an feste Körper erklären muſs, wage ich nicht zu entscheiden. Der Herausgeber der Annalen macht bei Hart's Beobachtung die Bemerkung, daſs ein durch den Blasebalg hervorgebrachter Luftstrom sich am Elektrometer nicht elektrisch zeigt, wenn die Luft rein ist, daſs er dagegen elektrisch ist, wenn sich Asche und Staub in der Luft befinden. Hiernach möchte man also glauben, daſs diese elektrisch gewordenen Körperchen Licht gäben; aber diese Erklärung scheint doch die kurz vorher angeführten Phänomene keineswegs mit zu umfassen, so daſs eine

---

1 Ann. de Ch. et Phys. XXII. 436.

2 Muncke Handb. d. Naturlehre. 2. Aufl. S. 523.

mit der Aenderung der Dichtigkeit in Beziehung stehende Lichterscheinung dennoch angenommen werden mufs. BOUVIER DESMORTIER glaubt, dafs durch die heftige Bewegung der Luft selbst bei Stürmen zuweilen Lichterscheinungen, die nicht elektrisch sind, entstehen können[1].

Hieran schliefse ich sogleich die Untersuchung des durch plötzlichen Druck auf Wasser und andere Flüssigkeiten entstehenden Leuchtens; denn obgleich wir gewohnt sind, diese Flüssigkeiten als unelastisch anzusehen, so kommt doch offenbar bei einem plötzlichen heftigen Drucke ihre zwar geringe, jedoch in der That nicht so ganz unmerkliche Zusammenpressung in Betrachtung. DESSAIGNES und HEINRICH haben sich bei ihren Versuchen hierüber einer Röhre von dickem Glase bedient, die mit gekochtem Wasser und andern, sorgfältig von Luft befreiten flüssigen Körpern zum Theil gefüllt wurde. Indem nun ein dichtschliefsender Kork die Oberfläche des Wassers ohne Zwischenraum berührte und dieser durch einen plötzlichen heftigen Schlag mit einem schweren Hammer gegen das Wasser gedrückt, also auch dieses selbst comprimirt wurde, so zeigte sich im Dunkeln ein ziemlich starkes, gelbliches Licht, das dem durch Verbrennung von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas im Volta'schen Endiometer glich. Dieses Licht zeigte sich immer nur in der untern Hälfte des Cylinders oder in dem Theile des Wassers, welcher von dem gestofsenen Pfropfe am entferntesten war. Es zeigte sich nie, wenn auch nur die geringste Quantität Wasser, neben dem schliefsenden Pfropfen hervordringend, einen Ausweg fand, und in diesen Fällen war auch der durch den Schlag hervorgebrachte Schall merklich anders, indem er nur, wenn gar kein Wasser hervordrang, dem Klange eines geschlagenen harten Körpers glich. Die Farbe des Lichtes war bei verschiedenen Flüssigkeiten ungleich und auch nach Verschiedenheit der Stärke des Stofses ungleich[2].

---

1 G. XXX. 282.

2 Schweigger's Journ. VIII. 115. HEINRICH S. 448.

11. Phosphorescenz fester Körper durch Druck, Bruch und Reibung.

Razumowsky, Wedgwood, Dessaignes und Heinrich haben auch über diesen Gegenstand viele Versuche angestellt, und da der Letztere die Versuche der frühern Beobachter benutzt hat, so theile ich vorzüglich aus Heinrich's vierter Abhandlung hier das Wichtigste mit[1].

Ein plötzlicher Druck auf Metalle und Körper, die nicht zerbrechen, bringt zwar einige Wärme, aber kein Licht hervor; das letztere nur dann, wenn die erregte Hitze bis zum Glühen geht. Gepulverte Körper dagegen, die man entweder frei auf dem Ambos mit einem Hammer schlug, oder ebenso wie das Wasser, in eine Röhre fest eingedrückt, mit einem plötzlichen Stoſse traf, zeigten Phosphorescenz. Hierbei war, nach Heinrich's Bemerkung, sehr bestimmt wahrzunehmen, daſs diejenigen Körper, die durch Erwärmung vorzüglich gut phosphorescirend werden, auch beim Stoſse am besten leuchten; die, welche bei Erwärmung mit ziemlich langer Dauer leuchten, sind auch hier am geschicktesten, eine länger dauernde Phosphorescenz zu zeigen, und es ist daher wohl deutlich, daſs die Erwärmung, die beim Stoſse frei wird, mit der Phosphorescenz in Verbindung steht. Daſs die Knallsalze vorzüglich die Eigenschaft besitzen, durch den Stoſs zu verknallen und dabei auch leuchtend zu werden, ist bekannt; da aber die Erklärung dieser Erscheinung und die Natur der hierzu geeigneten Stoffe zu viel tiefer eingehenden Untersuchungen führen, als ich hier mittheilen kann, so begnüge ich mich, diese Erscheinung nur zu erwähnen[2].

Eine mannigfaltigere Reihe von Versuchen gewährt das Licht, das beim Bruche ohne merkliche Reibung entsteht. Es entsteht nicht beim Zerreiſsen von Holz oder Stricken, auch nicht beim Zerreiſsen von Metalldrähten; Holz und Knochen zeigen auch beim Zerbrechen kein Licht. Dagegen geben recht harte und spröde Mineralien, vorzüglich solche, die ein krystallinisches Gefüge haben, beim Brechen und Zerschlagen ein Licht,

---

1 Mém. de la Soc. de Lausanne. II. 15. Gren's Journ. d. Phys. VII. 55. Schweigger's Journ. VIII. 70.

2 G. LXXV. 393. Poggend. Ann. I. 87.

und dieses scheint vorzüglich dann, vielleicht immer nur dann, hervorzugehn, wenn Stückchen abspringen. Heinrich führt hier viele einzelne untersuchte Gegenstände an, unter denen ich nur einige aushebe. Marmor und Kalkstein leuchteten nicht; Flufsspath leuchtete nur dann, wenn er hart und von spathartigem Gefüge war; Schwerspath leuchtete nicht. Feldspath leuchtete und russisches Frauenglas zeigte beim Zerspalten der Blätter zuweilen Funken von mehr als $\frac{1}{10}$ Zoll Länge, die von einem Blatte zum andern übersprangen. Bergkrystall giebt schönes Licht, vorzüglich beim Zerschlagen mit einem hölzernen Hammer auf der Hand; Glasröhren leuchteten nicht beim Zerbrechen, wohl aber beim Zerschlagen; die Bologneser Fläschchen leuchten nur zuweilen beim Zerspringen. Schwefel und Siegellack geben beim Zerbrechen kein Licht. Unter den Salzen zeichnete sich das schwefelsaure Kali durch gutes Leuchten aus, und dieses ist um so merkwürdiger, da Giobert's Versuche zeigen, dafs es auch beim Krystallisiren schönes Licht zeigt. Recht harter weifser Zucker und Candiszucker leuchten beim Brechen. Dafs auch Eisschollen beim Anstofsen an Brückenpfeiler und, wenn man Oeffnungen in das Eis haut, leuchten, bezeugen Weber, Wässström und Andere[1].

Körper, die beim Zerbrechen ein schwaches Licht geben, zeigen dieses weit schöner beim Zerstofsen im Mörser, aber auch hier blieben die vorhin als dunkel bleibend erwähnten Körper dunkel und es scheint, dafs nur die Körper von Krystallgefüge fähig sind, auf diese Weise leuchtend zu werden. Dieses Leuchten findet auch in verdünnter Luft statt und namentlich beim Candiszucker waren die Lichtbüschel schöner als in freier Luft.

Ob diese Phosphorescenz von Elektricität herrührt, ist freilich nicht erwiesen, aber es hat dieses wohl einige Wahrscheinlichkeit. Indefs ist es auffallend, dafs gerade die Körper, welche durch Druck und Bruch sich am Elektrometer elektrisch zeigen, zum Theil nicht zum Leuchten zu bringen waren; namentlich wird Kalkspath durch Druck leicht elektrisch und Heinrich konnte kein Licht von ihm erhalten. Dagegen hat Becquerel bei den getrennten Glimmerblättchen, die sich im Augenblicke der Trennung leuchtend zeigen, auch Elektricität wahrnehmen

1 G. XI. 352. Abh. d. Schwed. Acad. 1798.

können und schliefst daher, dafs alle ähnliche Erscheinungen elektrisch seyn mögen.

Die Erregung eines Leuchtens durch Reiben, durch einen an der Oberfläche hingehenden Schlag und auf ähnliche Weise hat Heinrich an so vielen Körpern untersucht, dafs ich wieder auf ihn verweisen mufs und nur Einzelnes ausheben kann; ich werde vorzüglich diejenigen Körper erwähnen, die sich hier entweder durch lebhaftes Licht auszeichnen, oder dadurch merkwürdig werden, dafs sie gerieben wenig Licht geben, obgleich sie unter andern Umständen gut phosphoresciren. Heinrich führt zuerst die Versuche an, wo gleichartige Körper an einander gerieben wurden, und aus diesen sind die folgenden Beispiele hergenommen. Doppelspath leuchtete schwach, selbst wenn man den Druck beim Reiben verstärkte; körniger Kalkstein leuchtete gut. Die Flufsspathe leuchteten zwar beim Aneinanderreiben, aber doch meistens nur schwach, die härteren und spathartigen am besten. Schwerspath leuchtete schwach, der künstliche Bologneser Stein gar nicht. Dagegen leuchteten lebhaft mit goldgelbem Lichte die Feldspathe, gebranntes Porcellan, gebrannte Töpferwaaren. Vorzüglich schön leuchteten, selbst mit schwachem Drucke gerieben, Bergkrystall, Quarz, Achat, Topas, Hornstein. Edelsteine leuchten, wenn das Reiben ihre Oberfläche aufritzt. Melis- und Candiszucker leuchten bekanntlich an einander gerieben sehr schön, Steinsalz schwach, Boraxkrystralle schwach, Harze, Schwefel, Bernstein leuchteten nicht, wenn man zwei gleichartige Stücke an einander rieb. Knochen und Zähne, so an einander gerieben, dafs noch keine bedeutende Hitze entsteht, leuchten nicht. Homogene Metalle an einander gerieben leuchten nie.

Diese Versuche bezogen sich auf ein Reiben ohne allzu grofse Gewalt; wurde dagegen ein Körper gegen einen fest eingeschraubten gleichartigen Körper mit möglichst starkem Drucke gerieben, so zeigte sich bei einigen Körpern ein lebhaft verstärktes Leuchten, bei andern war kein grofser Unterschied merklich. Bei den Kieselarten wurde das Licht nur dann sehr verstärkt, wenn mehr Splittern abgestofsen wurden, und wo dieses nicht statt fand, z. B. beim Glase, da blieb die Wirkung bei starkem und bei mäfsigem Drucke gleich. Die Mineralien, die vorzüglich Kalk enthalten, wurden durch stärkeren Druck viel schöner leuchtend und ebenso gaben die Zähne des Nil-

pferdes hier eine Phosphorescenz. Die Farbe des Lichtes war in diesem Falle röthlicher; man erhielt zuweilen Funken, zuweilen einen längern Lichtstrahl.

Heinrich macht bei diesen Versuchen die Bemerkung, dafs man bei einem solchen Reiben, welches die Phosphorescenz schon vollkommen hervorbrachte, keine Temperaturerhöhung bemerkte und dafs man daher mit Unrecht das Leuchten in diesem Falle als ein Glühen ansehe. Dessaignes hatte eben dieses aus seinen Versuchen geschlossen, indem Quarze mit Phosphor bestrichen beim Reiben leuchteten, ohne den Phosphor zu entzünden. Heinrich fand auch, dafs Mühlsteine, die leer gehend bei ihrem Reiben auf einander einen Feuerstrom zu bilden schienen, doch nicht fähig waren, Zündschwamm zu entzünden, welches dagegen sogleich geschah, als man eine Messerklinge an die Steine brachte und nun diesen Funken einem Zündschwamme darbot.

Von den Versuchen, wo verschiedene Körper an einem heterogenen Körper gerieben wurden, theile ich nur wenige mit. Ein Sandstein, der als Schleifstein zum Drehen eingerichtet war, ward so schnell gedreht, dafs jeder Punct des Umfangs 6 bis 7 Fufs Geschwindigkeit in der Secunde hatte, und nun die andern Körper daran gehalten. Hier wurden selbst sehr leicht zerreibliche Kalksteine, Alabaster, Meerschaum, Knochen, Zähne, Elfenbein mehr oder minder gut leuchtend, obgleich sie beim Reiben an einem gleichartigen Körper kein Licht gezeigt hatten. Als ausgezeichnet schön leuchtend führt Heinrich folgende an: Rosenquarz, Bergkrystall, Onyx, Chalcedon; mit rothem Lichte vorzüglich schön Carniol, böhmische Granaten, weifses Glas; hellleuchtend wie eine Flamme die Zähne des Nilpferdes; Perlmutter leuchtete unter allen Konchylien am schönsten. Metalle, und ganz vorzüglich Eisen, gaben hier, ohne bis zum Glühen erhitzt zu seyn, Licht; aber Steinkohlen leuchteten nicht, Holz nicht, Bernstein sehr schwach. In den meisten Fällen zeigte sich dicht an der Oberfläche des Schleifsteins eine leuchtende Wolke und um den Umfang ein leuchtender Bogen, der nicht so hell als jene war; beide entstehen aus den abgeriebenen Theilchen. Dafs hier so viele Körper leuchtend wurden, die bei schwächerem Reiben kein Licht geben, schreibt Heinrich der hier immer eintretenden Erwärmung zu, die allerdings nicht ohne Einflufs bleiben kann. Die Farbe des Lichtes war hier

meistens feuerroth, statt dafs sie bei schwachem Reiben oft nur weifslich ist. Wie grofs hier die Erhitzung werden kann, zeigen vorzüglich Versuche an grofsen Schleifmühlen, wo ein 4 Linien dicker Nagel in ¼ Minuten weifsglühend wurde, Glas zum Glühen und Schmelzen an der Berührungsstelle kam u. s. w.

Dessaignes bemerkt[1], dafs die Diamanten, welche dem Lichte ausgesetzt nicht leuchtend werden, auch durch Reiben nicht leuchtend wurden oder allenfalls nur einen kurzen Lichtblitz gaben. Am auffallendsten ist, dafs zwei Diamanten, die durch Bestrahlung beide nicht leuchtend wurden, nicht blofs an einander geschlagen leuchteten, sondern nach dieser Zeit auch durch alle andere Reizungen und selbst durch Bestrahlung leuchtend wurden, dafs ein anderer gut polirter Diamant mit einer Feile geschlagen erst am dritten Tage schwache Lichterscheinungen und späterhin immer stärkere Lichterscheinungen gab, und dafs dieser von nun an auch bei Schlägen mit Holz und andern harten, nicht polirten Körpern Licht gab, ja auch bei Bestrahlung leuchtend wurde, was vorher nicht der Fall gewesen war. Die Abnutzung der Kanten, die nach diesem vielen Schlagen sehr merklich war, schien also die Veränderung hervorzubringen, die auch bei andern Körpern sich ungefähr ebenso nachweisen läfst.

Dessaignes beschreibt auch die Verschiedenheit des entstehenden Lichtes etwas genauer. Wenn das Licht als Folge eines einfachen Stofses hervorgeht, so ist es ein einzelner Blitz, der aus dem geschlagenen Puncte hervorbricht; beim starken Reiben ist es ein leuchtender Streifen, der sich weiter verbreitet, als die entstandene Furche ist. Immer wird nur die getroffene Oberfläche leuchtend und der Anschein, als ob einige durchsichtige Körper ganz leuchtend würden, ist nur Folge des lebhaften Glanzes. Das Licht scheint nicht, wie beim Glühen, an dem leuchtenden Körper zu haften, sondern sich von dem leuchtenden Körper aus zu verbreiten. Die Farbe dieses Leuchtens ist ungleich, blau bei dem Hyalith, gelb bei dem Milchquarz, blutroth oder purpurroth bei dem Dolomit und Grammatit, etwas grünlich bei dem kohlensauren Strontian; alle diese Farben sind durch das Prisma zerlegbar. Bei einigen Körpern geht bei stärkerem Reiben das Licht aus dem bläulichen in das gelbliche über;

---

1 Schweigg. Journ. VIII. 74.

Quarze, Chalcedone und Kieselsteine geben gelbes Licht, enthalten sie aber Eisen, so ist das Licht nach Verhältniſs der Oxydation des Eisens roth. (So sagt Dessaignes, ohne völlig scharfe Beweise beizubringen.) Von diesem bloſs momentanen Lichte unterscheidet Dessaignes ein bei einigen Körpern sichtbar werdendes Licht von längerer Dauer, das zum Beispiel bei zwei an einander geschlagenen Stücken Adular einige Minuten lang dauerte und da entstand, wo ein Riſs zwischen den Lamellen des Krystalls hervorgebracht wurde. Eine solche Verschiedenheit des beim Aneinanderschlagen mancher Körper entstehenden Lichtes, das auch von der Beschaffenheit der Körper abhängt, läſst sich in manchen einzelnen Fällen sehr gut nachweisen. Beim Feuerschlagen, wo Feuerstein und Stahl zusammentreffen, erhält man in atmosphärischer Luft zweierlei Licht, das Leuchten der Steinsplittern und das Glühen oder Verbrennen der Stahlstückchen; im luftleeren Raume bleibt das letztere aus, obgleich der am Stahlrädchen geriebene Feuerstein noch Licht verbreitet. Nach Davy's Versuchen erhält man in freier Luft, wenn man am Flintenschlosse Schwefelkies anbringt, aus diesem ein rothes, aus dem Stahle ein weiſses Licht; aber beides erscheint nicht in verdünnter Luft. Die Funken des Stahls beim Feuerschlagen erscheinen nicht in kohlensaurem Gas, wo gleichwohl das Licht des Flintensteins, des Zuckers u. s. w. sichtbar bleibt.

Dessaignes hat auch auf den beim Reiben, beim Aneinanderschlagen zweier Steine und anderer harter Körper entstehenden Geruch seine Aufmerksamkeit gerichtet, ohne jedoch den eigentlichen Ursprung desselben genau ausmitteln zu können. Er glaubt, diese Gerüche ständen mit der Phosphorescenz in keiner Beziehung. Diese findet, wie er glaubt, allein dann beim Schlagen, Stoſsen oder Reiben statt, wenn Theilchen der harten Körper abspringen, daher sie auch nur bei einer nicht ganz glatten Oberfläche entstehen. Eben dieser Beobachter hat auch den Einfluſs äuſserer Wärme auf die Phosphorescenz untersucht und gefunden, daſs Glasröhren, bis 256° Centes. erhitzt und so an einander gerieben, sehr viel schöner leuchteten und daſs die Phosphorescenz zunimmt, bis die mitgetheilte Hitze nahe daran ist, das Rothglühen hervorzubringen; aber bei einer Erwärmung über diesen Punct hinaus ist kein phosphorisches Licht beim Reiben mehr zu bemerken. Läſst man Stücke eines

Kalksteins, sogleich nachdem sie aufgehört haben rothglühend zu seyn, auf die Erde fallen, so leuchten sie wieder. Wurde ein eben solcher Stein gleich nach dem Aufhören des Rothglühens mit einem Schlüssel angeschlagen, ja wurde auch nur an die Zange geschlagen, mit welcher man ihn hielt, so wurde er wieder leuchtend[1].

Dessaignes gründet auf seine Versuche, die ich hier nicht alle anführen kann, zumal da sie nicht strenge genug beweisend scheinen, den Schlufs, das Phosphoresciren entstehe durch die Concentration des Wassers, welche durch die Attractivkraft der Körper bewirkt werde; sie sey von dem Leuchten, welches man am ätzenden Kalke beim Ablöschen in wenig Wasser bemerkt, nur darin verschieden, dafs hier die Cohäsion des Kalks allein stark genug sey, um das Wasser zu concentriren, weshalb es keiner äufsern Kraft bedürfe. Alle Körper, sagt er, verlieren ihre Phosphorescenz, indem sie ihr gebundenes Wasser verlieren, sie erlangen die Phosphorescenz wieder, wenn sie dasselbe wieder aufnehmen. Dieses Licht kann theils durch Condensirung, schnelle Annäherung der Theile, erregt werden, theils durch Expansion oder schnelle Trennung der Theile. Jene entsteht durch hohe Spannung eines sehr elastischen Flüssigen, diese durch plötzliche Befreiung dieses Flüssigen aus seinem gespannten Zustande. Man wird jedoch wohl gestehn müssen, dafs diese Erklärungen immer nur sehr unvollkommen sind und dafs wir fast bei allen Arten der Lichterzeugung noch weit davon entfernt sind, deutlich zu übersehen, wie das Licht hervorgeht. Einige hierher gehörige Betrachtungen kommen noch in der dritten Abtheilung dieses Artikels vor.

II. Erscheinungen, welche das Licht bei seiner Fortpflanzung oder in Hinsicht auf die Wege, welche es durchläuft, darbietet.

Optische Erscheinungen.

Das Licht geht in geraden Linien fort. Wir erkennen dieses, indem wir die Lichtstrahlen durch einen dunkeln Körper

1 Noch mehr einzelne Versuche über diesen Gegenstand s. in Schweigg. Journ. VIII. 98. 103.

unterbrechen; der Schatten des dunkeln Körpers ist so begrenzt, dafs eine Ebene, welche den leuchtenden Körper und den dunkeln Körper berührt, zugleich eine Berührungsebene des beschatteten Raumes ist. Wenn der leuchtende Körper ein einziger Punct wäre, so würde der beschattete Raum durch eine Kegelfläche begrenzt, deren Querschnitt durch die Gestalt des dunkeln Körpers bestimmt würde. In jedem andern Falle ist der Schatten durch eine aus der obigen Bestimmung sich ergebende abwickelbare Fläche begrenzt.

Was also auch die Natur des Lichtes seyn mag, so ist das Gesetz seiner Fortpflanzung, dafs es der geraden Linie folgt. Dafs diese Fortpflanzung eine Zeit fordert, bemerken wir bei den Erscheinungen auf der Erde nicht, indem bei keiner Beobachtung auf der Erde ein Zeitverlust zwischen dem Entstehen des Lichtes und seinem Hingelangen zu unserem Auge zu bemerken ist; aber bei den gröfsern Entfernungen im Sonnensysteme bemerken wir einen solchen Zeitverlust. Diejenige Erscheinung, die zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes die erste Veranlassung gegeben hat, ist die Verfinsterung der Jupitersmonde. Der wahre Eintritt des Mondes in den Schatten des Hauptplaneten läfst sich nach den bekannten Gesetzen der Bewegung dieser Körper und nach der bekannten Gröfse des Jupiter berechnen; aber man bemerkt, dafs die Zeit der beobachteten Verfinsterung desto mehr hinter der Zeit des berechneten Eintrittes in den Schatten zurückbleibt, je mehr sich die Erde vom Jupiter entfernt, und desto weniger, je mehr sie sich ihm nähert. Wenn Jupiter der Sonne gerade gegenüber steht, so vergeht zwischen den beobachteten Anfangszeiten der Verfinsterungen des ersten Mondes ein Zeitraum von 42 Stunden 28′ 42″, und da hier die Entfernung des Jupiter von uns mehrere Tage lang fast völlig gleich bleibt, so können wir diese Zwischenzeit als die wahre zwischen zwei Eintritten in den Schatten ansehen. Um die Zeit dagegen, wenn die Bewegung der Erde gerade gegen den Jupiter gerichtet ist und er uns deshalb als stationär erscheint, beträgt diese Zwischenzeit 14 Secunden weniger, und um die Zeit endlich, wenn die Bewegung der Erde gerade vom Jupiter abwärts gerichtet ist, beträgt die Zwischenzeit 14 Secunden mehr, und wir schliefsen daher mit Recht, dafs jene Abkürzung der Zwischenzeit deswegen eintritt, weil die Erde sich in 42½ Stunden dem Jupiter um 590,000

Meilen genähert hat, und dafs der spätere Eintritt der Erscheinung im andern Falle durch die gröſsere Entfernung der Erde, wo der letzte vor der Verfinsterung ausgegangene Lichtstrahl bei der folgenden Verfinsterung 590,000 Meilen weiter, als bei der nächst vorhergehenden, fortgehen muſs, verursacht werde. Das Licht braucht also ziemlich nahe 14 Secunden, um 590,000 Meilen zu durchlaufen, oder es durchläuft 42,000 Meilen in 1 Secunde.

Diese Beobachtung über den auf die erwähnte Weise ungleichen Eintritt der Verfinsterungen der Jupitersmonde haben zuerst Römer und Cassini angestellt [1], und Römer gab die richtige Erklärung, daſs diese Verschiedenheit von der allmäligen Fortpflanzung des Lichtes herrühre. Die französischen Astronomen und Physiker schenkten dieser Meinung anfangs keinen Beifall, weil sie des Descartes Behauptung, daſs das Licht sich ohne Zeitverlust fortpflanze, widerstritt; aber als bald nachher die von Bradley entdeckte *Abirrung* des Lichtes [2] einen neuen Beweis für die eine bestimmte Zeit fordernde Fortpflanzung des Lichtes gab und die Geschwindigkeit des Lichtes dadurch fast genau eben so groſs angegeben wurde, so konnte man an der Richtigkeit der Meinung, daſs das Licht sich mit dieser bestimmten Schnelligkeit fortpflanze, nicht mehr zweifeln. Die aus der Beobachtung vieler Sterne abgeleitete Bestimmung der Aberration lehrt uns wohl die Geschwindigkeit des Lichtes am genauesten kennen und sie scheint daraus sich etwas geringer zu ergeben, als aus den Beobachtungen der Jupitersmonde. Aus diesen nämlich findet Delambre die Geschwindigkeit des Lichtes 10183mal so groſs, als die mittlere Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn [3], aus der Aberration dagegen findet von Lindenau eine 10086malige, Struve eine 10140malige Geschwindigkeit in Vergleichung gegen die Geschwindigkeit der Erde; nach Bradley's Beobachtungen würde man die Geschwindigkeit des Lichtes, wie Bessel bemerkt, noch geringer annehmen müssen. Nach diesen verschiedenen Bestimmungen gebraucht das Licht 493 Secunden oder 497,9 Secunden oder 495,7 Secunden, um

---

1 Mém. de l'acad. des sciences. T. I. 214. 313.

2 S. Art. *Abirrung*.

3 Nach Paucker's Berechnung 10184mal. Astronom. Jahrb. 1825. S. 112.

von der Sonne bis zur Erde zu gelangen; nimmt man 495 Secunden, so durchläuft das Licht 41750 Meilen in 1 Secunde und man findet nicht, daſs diese Geschwindigkeit anders sey bei dem Lichte der rothen, als bei dem Lichte der weiſsen Sterne[1], oder anders bei denen, die eine kleinere, als bei denen, die eine gröſsere Lichtstärke besitzen.

Man hat die Frage aufgeworfen, ob sich nicht ein Unterschied in der relativen Geschwindigkeit des Lichtes gegen die Geschwindigkeit der Erde, wenn diese sich gegen den Stern zu bewegt und wenn sie sich vom Sterne abwärts bewegt, erkennen lieſse, und ferner, ob sich nicht die Geschwindigkeit des Lichtes, die es in durchsichtigen Körpern erlangt, ebenso abmessen lieſse; aber die Beantwortung dieser Fragen hängt von Lehrsätzen ab, die sich erst in der Folge, wo von theoretischen Untersuchungen über die Natur des Lichtes die Rede seyn wird, erklären lassen.

Um zu übersehen, wie die fernern Gesetze der Fortpflanzung und Ausbreitung des Lichtes sich einer Prüfung unterwerfen lassen, muſs ich hier die Bemerkung vorausschicken, daſs die an sich dunkeln Körper uns auf zweierlei Weise vermittelst derjenigen Lichtstrahlen, welche sie von den leuchtenden Körpern empfangen und von ihrer Oberfläche zurückwerfen, sichtbar werden. Wenn die Oberfläche eines dunkeln undurchsichtigen Körpers sehr vollkommen glatt ist, so wird der auffallende Lichtstrahl nach einem sehr bestimmten Gesetze nur nach einer einzigen Richtung zurückgeworfen, von dieser Reflexion wird nachher das Nöthige erwähnt werden; dagegen wird von unpolirten oder rauhen Oberflächen zerstreutes Licht nach allen Richtungen zurückgeworfen und durch dieses zerstreute Licht werden uns die dunkeln Körper sichtbar. Ein dunkler Körper erscheint, wenn Lichtstrahlen auf ihn fallen, erleuchtet, und diese Erleuchtung ist ohne Zweifel der Menge der auf einerlei Flächentheil treffenden Lichtstrahlen proportional. Da indeſs die verschiedenen Körper nach der ungleichen Beschaffenheit ihrer Oberflächen nicht gleiche Antheile des empfangenen Lichtes zurückwerfen, so kann die Stärke der Erleuchtung nur bei

---

1 Herschel giebt die Geschwindigkeit des Lichtes = 191,515 engl. Meilen an, welches 41,560 deutsche Meilen beträgt. Struve obs. astr. II. p. 182. 213.

gleichartigen Oberflächen verglichen werden, und wo verschiedenartige Oberflächen sich der Vergleichung darbieten, da kann diese nur dann statt finden, wenn die verhältnifsmäfsige Menge der von beiden zurückgeworfenen Lichtstrahlen, der Grad ihrer Weifse (*albedo*), bekannt ist[1].

Wenn eine kleine Fläche den Lichtstrahlen, die von einem einzigen Puncte ausgehen, senkrecht ausgesetzt ist, so ist die Erleuchtung dem Quadrate der Entfernung von dem leuchtenden Puncte umgekehrt proportional. Es ist nämlich offenbar, dafs der senkrechte Querschnitt eines Strahlenkegels desto gröfser wird, je mehr man sich von dem leuchtenden Puncte entfernt, und da diese Fläche dem Quadrate der Entfernung direct proportional ist, die Menge der auftreffenden Lichtstrahlen aber gleich bleibt, wenn wir uns einen bestimmten Lichtkegel denken, so erhält jeder Flächentheil weniger Licht bei gröfserer Entfernung, und zwar in dem oben angegebenen Verhältnisse.

Wenn eine Fläche den Lichtstrahlen nicht senkrecht entgegengestellt ist, so ist ihre Erleuchtung dem Sinus des Winkels proportional, den der Lichtstrahl mit der erleuchteten Ebene macht; denn um dieselbe Menge von Strahlen aufzufangen, mufs sich die Gröfse der geneigten Ebene zur Gröfse der senkrecht entgegengestellten verhalten, wie 1 zu dem Sinus des Winkels, den die geneigte Ebene mit dem Lichtstrahle macht. Aus diesen beiden Gesetzen läfst sich die Erleuchtung, welche einem jeden Theile einer gegebenen Fläche von einem einzigen leuchtenden Puncte her zu Theil wird, bestimmen, und die Photometrie beschäftigt sich mit der Bestimmung dieser Grade der Erleuchtung, wobei sie auch Mittel zeigt, um die Erfahrung mit der Theorie zu vergleichen[2].

Wenn nicht ein einziger leuchtender Punct das Licht aussendet, sondern ein leuchtender Körper oder eine leuchtende Oberfläche die Erleuchtung hervorbringt, so zeigt die Erfahrung, dafs die Erleuchtung nur erstlich von der absoluten Intensität des Lichtes, das heifst von der jedem Puncte eigenthümlichen Stärke des Lichtes, und zweitens von der scheinbaren Gröfse der leuchtenden Fläche, nicht aber davon abhängt, unter welchem Winkel die leuchtende Oberfläche gegen die Richtung des

---

1 Vergl. Art. *Erleuchtung*. Bd. III. S. 1155.

2 S. Art. *Photometer*.

Lichtstrahls geneigt ist; die Sonne giebt uns eben so viel Licht, als eine eben so grofs erscheinende ebene Kreisfläche von gleicher Beschaffenheit, mit gleicher Lichtstärke begabt, es thun würde. Will man also die Erleuchtung, welche einer ganzen gegebenen Fläche zu Theil wird, berechnen, so hat man erstlich die Summe aller Erleuchtung, die, von den verschiedenen Puncten der leuchtenden Fläche ausgehend, einem einzigen Puncte der erleuchteten Fläche ertheilt wird, zu bestimmen, und zweitens die auf diese Weise für jeden einzelnen Punct der erleuchteten Fläche hervorgehende Erleuchtung in eine Summe zu bringen, also eine zweimalige Integration zu vollenden.

Wenn wir den Glanz eines leuchtenden Körpers mit unserem Auge wahrnehmen, so beurtheilen wir diesen Glanz in einer doppelten Hinsicht, theils indem wir den gesammten Lichteindruck zu schätzen suchen, theils indem wir die Stärke des Lichtes in jedem einzelnen Puncte des leuchtenden Körpers angeben. Dieses Urtheil, wenn es gleich nicht zu genauen Abmessungen, zu denen die Empfindung des Auges uns keinen Maſsstab giebt, dient, hängt von der Erleuchtung ab, welche das in unserem Auge dargestellte Bild von jenem leuchtenden Gegenstande empfängt. Wollen wir die absolute Gröſse der ganzen Erleuchtung bestimmen, die der leuchtende Körper unserem Auge zuführt, so ist diese gewiſs desto geringer, je entfernter der leuchtende Körper ist; denn wenn zum Beispiel die Sonne zur doppelten Entfernung hinausgerückt würde, so erschiene ihr Durchmesser nur halb so grofs, ihre scheinbare Kreisfläche nur ein Viertel so grofs und der gesammte Lichteindruck würde auch in unserem Auge nur ein Viertel so grofs seyn. Da aber auch die Gröſse des Bildes im Auge nur ein Viertel der Gröſse betragen würde, die es bei der wirklich statt findenden Entfernung der Sonne hat, so bliebe die Erleuchtung jedes einzelnen Punctes in diesem Bilde ungeändert, und wir sagen daher, die gesehene Hellheit (*claritas visa, the apparent intrinsic brightness*) bleibe gleich grofs, der zunehmenden Entfernung ungeachtet. Die in die doppelte Entfernung hinausgerückte Sonne würde uns gerade so erscheinen, wie uns ein 16 Minuten Durchmesser habender kreisförmiger Theil unserer Sonne erschiene, wenn man den übrigen Theil bedeckte. Dieses ist wohl an sich schon deutlich genug, bedürfte es aber noch einer Verdeutlichung, so mag man sich erinnern, daſs zwar von jeder Quadratmeile der

doppelt so entfernten Sonne nur ¼ so viel Strahlen in unser Auge gelangen, daſs aber dagegen 4 Quadratmeilen der doppelt so entfernten Sonne uns auch nur eben so groſs erscheinen, als 1 Quadratmeile der wirklichen Sonne, und daſs daher diese 4 Quadratmeilen ihr Licht auf eben den Punct der Netzhaut im Auge werfen, wohin das Licht jener einen Quadratmeile der wirklichen Sonne gelangte. Es versteht sich, daſs dieses nur da gilt, wo eine Schwächung des Lichtes in der Atmosphäre nicht statt findet.

Auf der nicht genauen Unterscheidung der gesammten Lichtmenge und der jedem einzelnen Puncte zuzuschreibenden Hellheit (*gesehenen Hellheit*) beruhen manche Miſsverständnisse, die sich nun wohl leicht heben lassen. Wenn eine Lichtflamme in immer gröſsere Entfernung hinausrückt, so wird sie uns immer kleiner erscheinen, und so wie sie jede andere Fläche immer schwächer erleuchtet, so nimmt auch der gesammte Lichteindruck im Auge ab; aber wenn nicht die Atmosphäre das Licht schwächt, so ist die Lebhaftigkeit des Eindruckes, den jeder Punct unserer Netzhaut im Auge empfindet, eben so groſs, weil die Anzahl der so gerührten Puncte in eben dem Maſse abnimmt, wie der gesammte Lichteindruck. Erst dann, wenn das Bild im Auge so klein wird, daſs wir nicht mehr fähig sind, eine scheinbare Gröſse wahrzunehmen, können wir die gesehene Hellheit nicht mehr von dem gesammten Lichteindrucke unterscheiden und daher beurtheilen wir dann das Licht nach dem gesammten Lichteindrucke. Ein Fixstern, der doppelt so weit hinausgerückt würde, könnte unserem Auge nur ein Viertel des Lichteindruckes mehr ertheilen, und da seine scheinbare Gröſse in der nähern sowohl, als in der entferntern Stellung zu klein ist, um sie anzugeben, so beschränkt sich unser Urtheil hier auf diese einzige Bestimmung, statt daſs wir der doppelt so entfernten Sonne noch immer die gleiche Intensität des Glanzes in jedem einzelnen Puncte beilegen, ihr Licht noch genau eben so blendend finden würden, wenn gleich die durch sie bewirkte Erleuchtung so erheblich abgenommen hätte.

Diese Behauptung, daſs die gesehene Hellheit oder der scheinbare Glanz jedes Punctes bei gröſserer Entfernung des leuchtenden Körpers nicht abnimmt, gilt offenbar nur, wenn das Licht in seinem Fortgange keine Schwächung durch andere Umstände erleidet. Trifft der Lichtstrahl auf Körper, die seinen

Fortgang hindern, oder gelangen von den zum Beispiel durch die Atmosphäre dringenden Lichtstrahlen nur einige zum Auge, so versteht sich, dafs diese Schwächung, Auslöschung, Absorption des Lichtes eine Verminderung der gesehenen Hellheit hervorbringt, so wie wir es ja auch bei nebeliger Luft in hohem Grade und wegen der nie ganz fehlenden Hindernisse immer in einigem Grade wahrnehmen.

Wenn der geradlinige Fortgang des Lichtes durch Körper irgend einer Art unterbrochen wird, so pflanzt sich das Licht nach andern Gesetzen fort, sowohl bei der Zurückwerfung von den Körpern, als auch bei der Durchlassung. Ist der Körper, den das Licht trifft, nicht geeignet, das Licht durchzulassen, oder ist er undurchsichtig, so wird ein Theil der Lichtstrahlen auf doppelte Weise zurückgeworfen. Wir unterscheiden hier nämlich die regelmäfsige Reflexion oder Zurückwerfung [1] von der Zurückwerfung des zerstreuten Lichtes und verstehen unter der ersteren diejenige, welche an polirten Oberflächen fester Körper und auch an den glatten Oberflächen flüssiger Körper statt findet. Ihr Hauptgesetz ist, dafs der von einer ebenen Fläche zurückgeworfene Strahl mit dem einfallenden Strahle in derselben auf diese Fläche senkrechten Ebene liegt und dafs der Winkel, unter welchem er gegen die zurückwerfende Ebene geneigt ist, eine gleiche Gröfse hat, als der Neigungswinkel des einfallenden Strahles gegen dieselbe Ebene. Wenn die zurückwerfende Fläche eine krumme ist, so gilt dasselbe Gesetz in Beziehung auf diejenige Ebene, welche in dem Puncte, wo das Antreffen und die Zurückwerfung des Strahles statt findet, die krumme Fläche berührt. Errichtet man nämlich in diesem Puncte eine Senkrechte gegen die Berührungsebene, so liegt der reflectirte Strahl mit dieser Senkrechten und mit dem einfallenden Strahle in derselben Ebene und bildet mit der Senkrechten einen ebenso grofsen Winkel, als der einfallende Strahl mit derselben bildete.

Vermöge dieses Gesetzes sehen wir im ebenen Spiegel nur *ein* Bild des leuchtenden oder Licht aussendenden Körpers und müssen uns in der bestimmten Richtung, wohin die Lichtstrahlen geworfen werden, befinden, wenn wir dieses Bild wahrnehmen wollen. Ueber die Erscheinungen, welche sich uns hier

---

1 S. Art. *Zurückwerfung*.

in den einzelnen Fällen bei ebenen und krummen Spiegeln darbieten, geben eigene Artikel vollständige Aufschlüsse [1]. Die Zurückwerfung der Strahlen bringt in gewissen Fällen eine Vereinigung mehrerer Strahlen in einem Puncte hervor; werden hier die sämmtlichen Lichtstrahlen in *einem* Puncte wieder vereinigt, welche von einem Puncte ausgegangen waren, so entsteht in jenem Puncte ein Bild dieses Punctes, und da, wenn es ein Körper ist, der Licht aussendet, die benachbarten Puncte des leuchtenden Körpers solche Bilder an einander gereihet zu geben pflegen, so entsteht ein Bild des leuchtenden Gegenstandes, dieser mag nun mit eignem Lichte leuchten, oder nur vermöge der von anderem Lichte erhaltenen Erleuchtung erborgte Lichtstrahlen zurückwerfen. Diese Bilder sind es, die, durch Hohlspiegel hervorgebracht, in den *Spiegelteleskopen* uns eine deutlichere Ansicht entfernter Gegenstände, in den *Spiegelmikroskopen* eine Vergröſserung naher Gegenstände darbieten. Werden die von einem leuchtenden Puncte ausgegangenen Lichtstrahlen nicht alle in einem Puncte gesammelt, findet aber doch eine Sammlung mehrerer Lichtstrahlen in einem Puncte, anderer in einem benachbarten Puncte, anderer in einem dritten Puncte und so ferner statt, so bilden diese Sammelpuncte, die ihr Licht alle von *einem* leuchtenden Puncte durch Reflexion aus verschiedenen Puncten des Spiegels erhalten, eine *Brennlinie* (*Catacaustica*), die als mehr erleuchtet erscheint, als die umgebenden Puncte, wenn man das dahin zurückgeworfene Licht auf einen Körper mit weiſser Oberfläche auffängt [2].

Wäre eine Oberfläche vollkommen glatt und böte sie gar keine Rauhheiten dar, so würde eine solche Oberfläche ganz allein nach dem angegebenen Gesetze das Licht reflectiren und von dem leuchtenden Körper würden einzig nach der vorhin angegebenen Richtung Lichtstrahlen hin gelangen. Eine solche Oberfläche würde also einem in anderer Richtung stehenden Auge ganz und gar unsichtbar seyn, weil wir nur diejenigen dunkeln Körper sehen, von welchen ein zurückgeworfenes Licht zu unserem Auge gelangt. Die Erfahrung zeigt uns dieſs annähernd, indem wir einen Spiegel, in dessen einem Puncte sich

---

1 Vergl. die Artikel *Cylinderspiegel*, *Hohlspiegel*, *Kegelspiegel*, *Kugelspiegel*, *Spiegel*, *Spiegelteleskop*.

2 S. *Brennlinie*, *Brennpunct*, *Bild*.

eine Lichtflamme spiegelt, während die übrigen Puncte kein Licht von hellen Körpern reflectiren, fast ganz schwarz nennen und seine einzelnen Puncte um so weniger deutlich als die Oberfläche eines Körpers wahrnehmen, je weniger diese Oberfläche durch Stäubchen oder durch feine Ritzchen und dergleichen Gelegenheit zur Zurückwerfung des nach allen Seiten zerstreuten Lichtes giebt, welches uns die dunkeln Körper als erleuchtete kenntlich macht. Da indeſs kein Spiegel ganz frei von diesen kleinen Rauhheiten der Oberfläche ist, so wird uns allemal seine Oberfläche auch als schwach erleuchtet kenntlich und es erwächst schon hieraus ein Grund, warum das reflectirte Licht sich allemal als erheblich schwächer in Vergleichung gegen das einfallende Licht zeigt, so daſs wir von den reflectirten Lichtstrahlen niemals die gesammte Erleuchtung erhalten, die wir von den geraden fortgehenden Lichtstrahlen hätten erhalten müssen. Aber ein zweiter Grund trägt hierzu noch mehr bei, nämlich der, daſs überhaupt bei dem Antreffen der Lichtstrahlen an Körper irgend einer Art Licht verloren geht, das heiſst, wenn alles antreffende Licht fähig war, einen bestimmten Grad der Erleuchtung auf einer bestimmten Fläche hervorzubringen, so sind die sämmtlichen nach dem Antreffen an den Körper weiter fortgehenden oder zurückgeworfenen Strahlen nicht mehr fähig, wenn man sie auch genau auf eben jener Fläche sammeln könnte, eben die Erleuchtung zu bewirken. Wir sehen diesen Lichtverlust sowohl bei den Spiegeln, wo sehr wenig zerstreutes Licht zurückgeworfen wird und doch die ganze Erleuchtung durch die regelmäſsig reflectirten Strahlen fast nie die Hälfte dessen ausmacht, was das auffallende Licht ergeben würde, als bei sehr weiſsen Körpern, die zerstreutes Licht so vollständig, als es irgend vorkommt, zurückwerfen, die aber doch einen Lichtverlust, welcher der Hälfte des empfangenen Lichtes gleich ist, bewirken. Uebrigens ist bei den nicht spiegelnden Körpern die Menge der zurückgeworfenen Lichtstrahlen sehr ungleich und es findet dabei die sehr bekannte Verschiedenheit in Hinsicht der Farben statt; aber, auch abgesehen davon, unterscheiden wir Abstufungen vom vollkommensten Weiſs durch alle Grade des Grau bis zum Schwarz. Diejenigen Körper, zum Beispiel Schnee, das weiſseste Papier und ähnliche, erscheinen uns am glänzendsten weiſs, welche die meisten zerstreuten Lichtstrahlen zurückwerfen, ohne daſs dabei eine Art von Strah-

len (von Farbenstrahlen, wovon nachher geredet werden wird) vorwalte; wo weniger Lichtstrahlen von allen Puncten der Oberfläche nach allen Richtungen zurückgeworfen werden, da eignen wir dem Körper ein graues Ansehen zu; wo der zurückgeworfene Antheil von Licht sehr geringe ist, da geht dieses Grau immer mehr in Schwarz über, und vollkommen schwarz würden wir den Körper nennen müssen, der gar keinen Theil des empfangenen Lichtes zerstreut zurückgäbe [1].

Diese Betrachtungen betrafen die Veränderungen in dem Wege der Lichtstrahlen, wenn sie auf undurchsichtige Körper treffen; in dem entgegengesetzten Falle, wo der Körper ein durchsichtiger ist, gehen die Lichtstrahlen durch ihn hindurch und behalten ihre Fähigkeit zu erleuchten sowohl innerhalb desselben, als auch nach dem Austritte aus demselben. Der auf durchsichtige Körper auffallende Lichtstrahl wird in den meisten Fällen beim Antreffen an denselben in zwei Theile zerlegt, in einen zurückgeworfenen und in einen durch die Oberfläche durchgelassenen Antheil, und auch wenn der durchgelassene Lichtstrahl die andere Oberfläche des durchsichtigen Körpers erreicht, so pflegt eine ähnliche Trennung in zwei Lichtstrahlen statt zu finden, indem einer nach dem Innern des Körpers reflectirt wird und nur der zweite aus dem durchsichtigen Körper wieder hervordringt. Da die Gesetze, nach welchen die reflectirten Theile dieses gleichsam zerspaltenen Lichtstrahles ihren Weg fortsetzen, ganz die eben vorhin angegebenen Gesetze der Zurückwerfung sind, so brauche ich von diesen hier weiter nichts zu sagen, aufser dafs der im Innern des Körpers reflectirte Strahl, wenn er später irgendwo die Oberfläche des Körpers an einer andern Stelle erreicht, seinen geradlinigen Fortgang nach eben den Gesetzen unterbricht, die ich jetzt sogleich als Gesetze der gewöhnlichen Brechung angeben werde.

Wir sagen nämlich von dem in einen durchsichtigen Körper eindringenden oder von einem durchsichtigen Körper in einen andern übergehenden Lichtstrahle, er werde *gebrochen*, wenn er in der Oberfläche jenes Körpers oder in der Trennungsfläche beider Körper seinen bisherigen geradlinigen Weg plötzlich ändert und in einer andern geraden Linie fortzugehen anfängt.

---

1 Ein Beispiel einer in seltenem Grade vollkommen schwarzen Oberfläche giebt Brewster. Poggend. Ann. II. 293.

Diese Brechung findet allemal statt, wenn der Lichtstrahl in einer andern als der senkrechten Richtung in die Oberfläche des durchsichtigen Körpers eintritt, und ihr allgemeines Gesetz ist, wenn man in dem Puncte der Oberfläche, wo der Eintritt des Strahls erfolgt, eine Normallinie gegen die Oberfläche zieht, daſs erstlich der gebrochene Strahl in derselben durch die Normallinie gelegten Ebene bleibt, in welcher sich der einfallende Strahl befand, zweitens, daſs er an der Seite der Normallinie liegt, wo die Verlängerung des einfallenden Strahls sich befindet, und drittens, daſs der Sinus des Winkels, welchen der einfallende Strahl mit dieser Normallinie oder dem Einfallslothe machte, bei jeder Gröſse dieses Winkels in einem immer gleichen Verhältnisse bleibt zu dem Sinus des Winkels, welchen der gebrochene Strahl mit eben dem Einfallslothe macht, so lange nämlich die Körper dieselben bleiben, zwischen denen der Uebergang aus dem einen in den andern statt findet.

Wenn dieses Brechungsverhältniſs beim Uebergange des Lichtstrahls aus dem leeren Raume in einen bestimmten Körper A so ist, daſs der Sinus des Einfallswinkels bei dem Uebergange aus dem leeren Raume in den Körper sich zum Sinus des Brechungswinkels verhält, wie $1 : m$, so ist umgekehrt das Verhältniſs $m : 1$ dasjenige, welches zwischen den Sinus statt findet, wenn der einfallende Strahl aus dem Innern des Körpers her die Oberfläche trifft und der gebrochene, hervorgedrungene Strahl im leeren Raume fortgeht. Ist bei einem andern Körper B für den Uebergang aus dem leeren Raume in den Körper das Verhältniſs der Sinus $1 : m'$, so ist beim Uebergange aus dem Körper A in B, wenn diese sich unmittelbar berühren, das Verhältniſs der Sinus wie $m : m'$.

Bei dem Uebergange aus dem leeren Raume in irgend einen durchsichtigen Körper ist allemal der Winkel, den der gebrochene Strahl mit der Normallinie oder mit dem Einfallslothe macht, kleiner als der, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe machte, und in den meisten Fällen ist die Brechung desto stärker, je dichter der Körper ist, in welchen der aus dem Vacuum kommende Lichtstrahl übergeht; indeſs leidet diese letzte Regel viele Ausnahmen, indem vorzüglich die brennbaren Körper das Licht viel stärker brechen, als es ihrer Dichtigkeit gemäſs wäre, und auch bei andern Körpern keine genau verhält-

nifsmäfsige Zunahme der Brechung nach dem Mafse der Dichtigkeit statt findet.

Wie man die Gröfse der Brechung, das bestimmte Verhältnifs der Sinus, bei einzelnen gegebenen Körpern findet, ist im Artikel *Brechung* angegeben, und wie man bei dem Fortgange des Lichtstrahls durch mehrere Ebenen, in welchen Brechung statt findet, den Weg des Lichtstrahls bestimmt, lehrt der Artikel *Prisma*. Auch bei der Brechung kann, wenn die Grenzen der brechenden Körper krumme Flächen sind, ein Sammeln der von einem einzigen Puncte ausgehenden Strahlen in einem einzigen Puncte statt finden, und es entsteht dann ein Bild des aus mehreren leuchtenden Puncten bestehenden Gegenstandes [1]. Dieses Bild ist es, wodurch das Auge fähig wird zu sehen, und im Fernrohre und Mikroskope giebt es uns Gelegenheit, um uns entfernte Gegenstände so, als ob sie näher wären, darzustellen und kleine Gegenstände vergröfsert zu zeigen [2]. Findet die Sammlung der Lichtstrahlen nicht so statt, dafs alle aus *einem* Puncte ausgehende Lichtstrahlen sich in *einem* Puncte vereinigen, so ist es auch hier zuweilen der Fall, dafs sich die in einigen Puncten der krummen Fläche gebrochenen Strahlen in einem Puncte, die in andern Puncten der krummen Fläche gebrochenen Strahlen in andern Puncten vereinigen und dafs sich so *Brennlinien*, eine Reihe von stärker erleuchteten Puncten darstellend, bilden.

Wenn ein Lichtstrahl aus dem leeren Raume in irgend einen durchsichtigen Körper oder aus einem nicht so stark brechenden Körper in einen stärker brechenden übergeht, so giebt es keinen Einfallswinkel, bei welchem dieses Eintreten in den stärker brechenden Körper gehindert würde. Fällt nämlich der Lichtstrahl in der Normallinie ein, so bleibt er in der Normallinie; macht er vor dem Eintritte einen Winkel $= \alpha$ mit der Normallinie, so macht er nach dem Eintritte einen kleinern Winkel $= \beta$ mit der Normallinie, indem $\text{Sin. } \beta = \text{m. Sin. } \alpha$ und m ein ächter Bruch ist; selbst bis $\alpha = 90°$, oder wenn der Lichtstrahl unmittelbar an der brechenden Fläche selbst hinfährt, gelangt er unter einem Winkel $= \beta$, dessen Sinus $=$ m ist, gegen die Normallinie geneigt in das Innere des stärker bre-

1 Vergl. Art. *Bild*, *Brennpunct*, *Linsenglas*.

2 Vergl. Art. *Auge*, *Gesicht*, *Fernrohr*, *Mikroskop*.

chenden Körpers. Aber wenn ein Lichtstrahl aus dem stärker brechenden Körper gegen die Oberfläche, welche diesen von einem schwächer brechenden Körper trennt, fortgeht, so giebt es Einfallswinkel, für welche der Lichtstrahl nicht aus dem stärker brechenden Körper hervordringen kann. Ist z. B. der Lichtstrahl AB in das Glasprisma CDE senkrecht bei B eingedrungen und ungebrochen nach BF fortgegangen, so sollte nach dem bei Glas statt findenden Brechungsverhältnisse, wenn der Strahl in den leeren Raum hervordringt, Sin. IFH $= \frac{3}{2}$ Sin. BFG seyn, und hier würde, wenn BFG $> 42^{\circ}$ ist, der für Sin. IFH sich ergebende Werth > 1, eben darum aber gar kein solcher Winkel möglich seyn; in diesem Falle, wo der analytische Werth den Winkel als unmöglich angiebt, geht der Lichtstrahl gar nicht in das angrenzende Medium über, sondern wird nach FK unter einem Winkel GFK $=$ GFB zurückgeworfen. Bei dieser Zurückwerfung verbindet sich derjenige Theil des Lichts, welcher sonst den ausfallenden Strahl gebildet hätte, mit dem Theile, welcher gewöhnlich nach FK reflectirt wird, und es ist daher in keinem Falle die Stärke des reflectirten Lichtes so grofs, als in diesem. Es läfst sich hieraus übersehn, dafs ein Gegenstand L, der sich im Glase befände, wenn die Oberfläche CE, übrigens mit undurchsichtigen Körpern bedeckt, blofs bei F den Lichtstrahlen einen Ausgang gestattete, weder bei H noch irgendwo in der Gegend IHE gesehn werden könnte. Wie sich an diese Grenze der Refraction, wo sie in Reflexion übergeht, ein Mittel anschliefst, um selbst für manche undurchsichtige Körper die Stärke ihrer brechenden Einwirkung auf den Lichtstrahl zu finden, ist im Art. *Brechung* gezeigt worden[1].

Fig. 30.

Aber aufserdem, dafs der durch einen durchsichtigen Körper gehende Lichtstrahl durch die Zerspaltung eine Schwächung leidet, indem ein Theil von ihm beim Eintritte, ein Theil beim Austritte reflectirt wird, entsteht auch noch eine neue Schwächung durch das, was man Lichtverlust, *Absorption des Lichtes*, *Exstinction des Lichtes* beim Fortgange im Innern eines durchsichtigen Körpers selbst nennt. So wie in dem undurchsichtigen Körper der Fortgang des Lichtstrahles gänzlich gehindert wird, so dafs die Einwirkung desselben auf unser Auge völlig

1 Dieses Wörterb. Bd. I. S. 1145.

aufhört, so wird auch in einem jeden, selbst dem durchsichtigsten Körper in einigem Grade der Durchgang der Lichtstrahlen unterbrochen und das Licht geschwächt. Den Grund hiervon sehn wir zuweilen deutlich, zum Beispiel in der Luft an den Stäubchen, welche das Licht reflectiren, an den Dünsten, die sich durch zurückgeworfenes Licht als weifse Nebel oder glänzende Wolken zeigen, oder im Glase an den darin enthaltenen Bläschen und fremden Theilen[1], und auch da, wo keine so deutlich hervortretenden Ungleichheiten sich kenntlich machen, bringt doch die nie vollkommene Gleichheit der Theile eines Körpers eine ähnliche Zerstreuung des Lichtes hervor.

Bei der Brechung der Lichtstrahlen zeigt sich uns zugleich das Phänomen der Farben. Wenn ein Sonnenstrahl geradlinig fortgeht, wenn er gespiegelt zurückgeworfen wird, wenn er einen durchsichtigen Körper ungebrochen durchdringt, so bleibt der ungefärbte Strahl ungefärbt oder weifs; aber wenn er von dem auf die brechende Fläche errichteten Perpendikel abweichend, in schiefer Richtung auffallend, eine Brechung erleidet, so erscheint er gleichsam gespalten oder vielmehr fächerartig ausgebreitet, selbst der feinste Lichtstrahl, der vorher auf einer ihm senkrecht dargebotenen Ebene nur einen kleinen Raum erleuchtete, zeigt dann nach der Brechung einen in die Länge ausgedehnten Raum auf einer senkrecht dargebotenen Fläche erleuchtet, und diese Erleuchtung zeigt sich farbig, wenn auch die Fläche, welche sie aufnimmt, im freien Sonnenlichte weifs erschiene. Dieses Phänomen begründet die Behauptung, dafs der weifse, ungefärbte Lichtstrahl durch die Brechung in farbige Strahlen zerlegt werde, und da in diesem Farbenbilde die rothe Erleuchtung sich da zeigt, wo eine geringere Ablenkung von dem ursprünglichen Wege den Strahl hin gelangen läfst, so legen wir dem rothen Strahle eine geringere Brechung bei, statt dafs wir nach der Reihe den orangefarbenen, gelben, grünen, blauen, violetten Strahl als immer stärker gebrochen erkennen.

Wenn man sich des Prisma's bedient und einen eng begrenzten Sonnenstrahl auf dasselbe fallen läfst, der ungebrochen einen kleinen erleuchteten weifsen Kreis auf einer ihm senkrecht entgegengestellten Tafel in A dargestellt hätte, so wird nicht allein wegen der Brechung dieser erleuchtete Raum nach B

Fig. 31.

1 Vergl. Art. *Durchsichtigkeit.*

rücken, sondern das prismatische Spectrum erscheint zugleich in die Länge von B nach C ausgedehnt, es behält die Breite, die der Gröfse des erleuchteten Kreises A angemessen ist, aber, selbst wenn die Tafel nun gegen DB senkrecht gestellt wird, ist es von B nach C viel länger und bei B zeigt sich Roth, bei C Violett, als die Grenze des Bildes darstellend. Bringt man ein zweites Prisma in den rothen Strahl DB, so wird er wieder nach eben den Gesetzen wie vorhin gebrochen und die Brechung ist geringer, als bei den übrigen Farbenstrahlen, bei dem violetten Strahle ist sie am gröfsten. Das weifse Sonnenlicht, indem es alle diese Farbenstrahlen giebt, erscheint uns also als aus farbigen Strahlen zusammengesetzt, und da die aus der Zerstreuung im Prisma hervorgegangenen Strahlen, wenn man sie wieder vereinigt, aufs neue ein weifses Bild geben, so sehn wir das Weifs als aus einer Mischung jener farbigen Erleuchtung in bestimmtem Verhältnisse der einzelnen Farbenstrahlen hervorgehend an. Wenn man alle Strahlen wieder sammelt, so zeigen sie dem Auge wieder Weifs; sammelt man einige mit Ausschliefsung irgend eines Farbestrahls, so erhält man eine gemischte Farbe, welche die Ergänzungsfarbe zu der nicht mit aufgenommenen heifst; grün ist die Ergänzungsfarbe zum Roth, Violett ist die Ergänzungsfarbe zum Gelb u. s. w. Jedem Farbenstrahle kömmt ein eigner Werth des vorhin mit m bezeichneten Quotienten der Sinus oder ein eigner Werth des Brechungsverhältnisses beim Uebergange in einen bestimmten Körper zu, und da das Farbenbild keine Unterbrechung zeigt, sondern durch unmerkliche Uebergänge eine Farbe sich an die andere anreiht, so schien es, dafs man beim Sonnenlichte annehmen dürfe, dafs m nach dem Gesetze der Stetigkeit alle Werthe, die zwischen denjenigen liegen, welche dem äufsersten Roth und dem äufsersten Violett entsprechen, erhalte; aber Fraunhofer's Versuche haben gezeigt, dafs auch im Sonnenlichte nicht ohne Ausnahme alle zwischen jenen Grenzen enthaltene Strahlen vorhanden sind, sondern dafs feine Unterbrechungen des Farbenbildes auf einen Mangel gewisser Strahlen, die einem bestimmten Werthe von m entsprechen, schliefsen lassen. Fraunhofer schliefst aus seinen Untersuchungen, dafs diese dem Sonnenlichte fehlenden Lichtstrahlen auch dem vom Monde und der Venus reflectirten Lichte fehlen, dafs hingegen im Lichte der Fixsterne andere helle und dunkle Linien, ohne Zweifel

nach Verschiedenheit ihrer Farben, im prismatischen Bilde kenntlich sind. Bei Flammen, die man sehr verschiedenfarbig erhalten kann, ist es leicht nachzuweisen, dafs diejenigen Stellen des Farbenbildes am glänzendsten hervortreten, die der Farbe der Flammen entsprechen, und dafs dagegen andere Stellen dunkel erscheinen, weil keine diesen Farben entsprechenden Strahlen aus diesem Flammenlichte hervorgehn[1].

Diese Zerstreuung des Lichtes in Farbenstrahlen[2] ist ungleich bei verschiedenen Körpern. Daher erhält man, wenn Prismen von gleicher Form in gleicher Stellung, aber aus verschiedenen Materien angewendet werden, nicht blofs Farbenspectra von ungleicher Ausdehnung, sondern es ist auch das Verhältnifs des Raumes, den eine bestimmte Farbe einnimmt, zu dem, in welchem eine andere Farbe begrenzt ist, nicht bei allen verschiedenen Körpern gleich. Auf jenem Umstande, dafs bei gleicher Brechung der mittlern Strahlen die Farbenzerstreuung ungleich gefunden wird und dafs diese nicht in immer gleichem Verhältnisse mit der Brechung wächst, beruht die Möglichkeit, durch ein aus zwei Prismen zusammengesetztes Prisma einen farbenlosen Strahl, obgleich er gebrochen ist, und durch zwei verbundene Linsengläser ein farbenloses Bild der Sonne und anderer Gegenstände, deren Licht weifs erscheint, zu erhalten[3].

Auch die im Vorigen erwähnte gänzliche Zurückwerfung des Lichtstrahls, wenn er aus dem Innern eines dichtern Körpers nicht mehr hervorgehen kann, findet bei den einzelnen Strahlen statt. Wenn man die Lage des Prisma's nach und nach so ändert, dafs der Winkel, den die wieder aus dem Prisma hervorgehenden Strahlen mit dem Einfallslothe bilden, immer gröfser wird, wobei der Winkel für den violetten Strahl am gröfsten ist, so gelangt man dahin, dafs der violette Strahl beim Hervorgehen fast unmittelbar an der Oberfläche des Prisma's fortgeht. Setzt man dann die Drehung noch weiter fort, so fehlt das Violett im Spectrum und ist als zurückgeworfener Strahl in der Richtung, wo dieser hingelangt, sichtbar; bei weiterer

1 Vergl. Art. *Farbe*. Bd. IV. S. 106.

2 S. Art. *Brechbarkeit*, *Zerstreuung*, *Farbe*.

3 S. Art. *Prisma*, *achromatisches*; *Linsenglas*, *achromatisches*.

Drehung geht der blaue Strahl und so die folgenden in das reflectirte Bild über.

Bei allen den Versuchen, wo mit Hülfe des Prisma's farbige Strahlen hervorgehn, zeigt es sich, dafs die Farben der undurchsichtigen Körper durch die Art des auffallenden farbigen Lichtes bestimmt werden und nur so fern als eine Eigenthümlichkeit der Körper erscheinen, als allerdings der eine geeigneter ist, die rothen, der andere, die grünen, blauen Strahlen u. s. w. zurückzuwerfen. Setzt man nämlich irgend einen Körper dem ungemischten rothen Lichtstrahle aus, so erscheint er roth, was auch im freien, weifsen Sonnenlichte seine Farbe seyn mochte; aber freilich ist sein Roth nur dann schön und reichhaltig an Licht, wenn der Körper auch im weifsen Sonnenlichte roth erschien, und dagegen dunkel und unscheinbar, wenn die Farbe im Sonnenlichte grün oder blau war; dagegen ist der grüne Körper im grünen Lichte als mit reicher Erleuchtung glänzend sichtbar, statt dafs er in rothen, blauen und andern Lichtstrahlen seine Untauglichkeit, diese Strahlen gut zurückzuwerfen, zeigt. Bei Flammenlichte läfst sich dieses noch auffallender machen, wenn man solche Flammen wählt, denen einige Farbenstrahlen ganz fehlen, und ihrer Erleuchtung Körper aussetzt, die gerade nur diese Farbe zurückwerfen; diese erscheinen dann fast ganz schwarz[1]. Worauf es beruhen mag, dafs die verschiedenen Körper verschiedene Farbenstrahlen leichter zurückwerfen, soll, so weit wir es zu erklären wissen, weiter unten angeführt werden.

Auch die durchsichtigen Körper erscheinen uns farbig. Sie zeigen sich uns nämlich als unfähig, gewisse Farbenstrahlen durchzulassen, und da durch sie von den im weifsen Lichte vorhandenen Farbenstrahlen zum Beispiel nur die blauen allein oder in vorzüglich reichem Mafse zum Auge gelangen, so erscheint uns alles durch diesen Körper als blau[2]. Die Ursache, warum die übrigen Farbenstrahlen nicht durchgelassen werden, ist uns unbekannt, es scheint aber dabei eine Verschiedenheit statt zu finden, indem bei einigen Körpern die nicht durchgelassenen uns als zurückgeworfene Strahlen sichtbar werden[3], bei

1 Vergl. Art. *Farbe*. S. 106.

2 Art. *Farbe*. S. 115.

3 S. Art. *Abendröthe*.

andern aber diese Farbenstrahlen eben so gänzlich für unser Auge verloren gegangen sind, wie es in noch stärkerem Maſse bei den undurchsichtigen Körpern der Fall ist.

Einigen Aufschluſs über die beständigen und natürlichen Farben der Körper scheinen diejenigen Erscheinungen zu geben, wo dünne Blättchen solcher Körper, die in gröſseren Massen farbenlos erscheinen, sich gefärbt zeigen, und zwar mit Farben, die nach der Dicke des dünnen Blättchens verschieden sind. Die dünne Wasserschicht, welche eine Blase umgiebt oder vielmehr sie bildet, zeigt solche Farben und nach Muncke's und Herschel's Bemerkung kann man sie selbst an sehr dünn geblasenem Glase sehen, jedoch am besten dann, wenn das auffallende Licht ganz ungemischt aus einer einzigen Art von Farbenstrahlen besteht. Am dauerndsten sieht man diese Farben da hervorgebracht, wo eine dünne Luftschicht oder leerer Raum zwischen einer convexen Linse von schwacher Wölbung und einer ebenen Unterlage eingeschlossen ist; hier zeigen sich nämlich um den Punct der wirklichen Berührung farbige Ringe, die unter dem Namen der *Newton'schen Farbenringe* bekannt sind, von welchen sich streng nachweisen läſst, daſs ihre Farbe durch die Dicke des zwischen beiden Gläsern übrig bleibenden Raumes bestimmt ist. Sie bilden sich so, daſs genau eben da, wo ein Auge, welches reflectirte Strahlen empfängt, Roth sieht, einem zweiten Auge, welches durchgelassene Strahlen empfängt, Grün erscheint und allemal die demselben Puncte entsprechenden durch Zurückwerfung und Durchlassung gesehenen Farben diejenigen sind, die man complementäre Farben, Ergänzungsfarben nennt. Wie diese Farben nach bestimmten Gesetzen hervorgehen, ist theils im Artikel *Anwandlungen* gezeigt, theils soll nachher, wo von den Theorieen des Lichts geredet wird, mehr davon gesagt werden. Hier mag es genügen zu bemerken, daſs eine ganze Oberfläche, bei welcher die Entstehung der Farbe ihren Grund in lauter gleich dicken, höchst feinen Blättchen hätte, uns den Körper in der dieser Dicke angemessenen Farbe zeigen würde nnd daſs eine Erklärung der natürlichen Farben der Körper daher auf einem Eindringen der Lichtstrahlen und einer Zurückwerfung an der andern Seite oder an beiden Seiten so dünner Blättchen beruhen könnte. Wenigstens ist es offenbar, daſs die Eigenschaft der Körper, zum Beispiel nur die rothen Farbenstrahlen zu reflectiren, nicht anders statt finden

kann, als indem die übrigen Lichtstrahlen, in den Körper eindringend, für unser Auge unwirksam werden. Und hierbei ist es allerdings auffallend, daſs eine bestimmte Dicke der durchsichtigen Schicht diese fähig macht, uns eine bestimmte Farbe, roth zum Beispiel, als reflectirte Farbe zu zeigen, daſs eine genau dreimal so dicke, eine genau fünfmal so dicke Schicht eben die Eigenschaft hat, statt daſs eine 2mal so dicke, eine 4mal so dicke Schicht und so ferner eben die Farbe als durchgelassene zeigt.

Aber noch auffallendere Erscheinungen bietet das Zusammentreffen zweier Lichtstrahlen in gewissen Fällen dar, wo ein zweiter auf denselben Punct fallender Lichtstrahl nicht die durch den ersten bewirkte Erleuchtung vermehrt, sondern sie aufhebt. Sind nämlich die Wege beider beinahe in gleicher Richtung eintreffender Lichtstrahlen gleich lang, so entsteht eine verstärkte Erleuchtung; dagegen, wenn sie um eine gewisse Differenz verschieden sind, tritt eine *Interferenz,* ein gegenseitiges Auslöschen ein, welches bei der dreifach so groſsen, fünffach so groſsen Differenz der Wege wieder ebenso gefunden wird, statt daſs die zweifache, vierfache, sechsfache Differenz der Wege eine verstärkte Erleuchtung gewähren[1].

Auf diesen Interferenzen beruhen auch die Erscheinungen der *Beugung* oder *Diffraction* des Lichtes. Wir sind gewohnt anzunehmen, daſs die Grenze des Schattens eines dunkeln, durch einen einzigen leuchtenden Punct erleuchteten Körpers da liege, wo eine vom leuchtenden Puncte ausgehende, den dunkeln Körper berührende, gerade Linie hintrifft; aber eine sehr genaue Untersuchung zeigt, daſs Lichtstrahlen in den Raum innerhalb dieser geometrischen Schattengrenze hinein gelangen und daſs bei sehr schmalen Körpern diese anscheinend hineinwärts gebeugten Strahlen, farbige Streifen, den Grenzen des Körpers meistens parallel, nur da, wo der Körper sehr viel schmaler zuläuft, von der Parallelität abweichend, darstellen. Aehnliche Farbenstreifen zeigen sich bei gehörig angeordneten Versuchen auch als den Schatten der Körper an der äuſsern Seite umgebend, und da sich auch bei diesen Phänomenen zeigen läſst, daſs ein Zusammentreffen zweier Lichtstrahlen zur Hervorbringung dieser Farbenstreifen nöthig ist, so läſst sich nicht zweifeln, daſs sie

---

1 S. Art. *Interferenz.*

unter die Classe der durch Interferenz entstehenden Erscheinungen zu rechnen sind. An eben diese Erscheinungen schliefsen sich diejenigen an, welche man als farbige Streifen wahrnimmt, wenn das Licht zwischen einer Reihe gleicher und gleich weit aus einander stehender dunkler Körper durchgeht, wenn das Licht von Oberflächen, die durch parallele, nahe an einander gezogene Linien gefurcht sind, reflectirt wird, wenn es von Metallsaiten, Haaren u. s. w. zurückgeworfen wird [1].

Bei allen diesen Erscheinungen sind wir gewohnt anzunehmen, dafs der Lichtstrahl nach jeder Zurückwerfung, nach jeder Brechung die Eigenschaft behalte, abermals zurückgeworfen, abermals gebrochen zu werden, kurz dafs er, die Zerlegung in Farbenstrahlen ausgenommen, welche bei wiederholter Brechung nicht zum zweiten Male erfolgt, alle seine Eigenschaften ungeändert behalte; aber dieses verhält sich nicht in allen Fällen so. Den am frühesten bekannt gewordenen Beweis hierfür giebt der Doppelspath. Wenn auf diesen Körper, welcher rhomboidische Krystalle bildet, ein Lichtstrahl auffällt, so zertheilt dieser sich (abgesehen von der Zerspaltung in Farbenstrahlen) in zwei verschieden gebrochene Strahlen, deren einer den gewöhnlichen Brechungsgesetzen folgt, während der andere nach ganz andern Gesetzen gebrochen wird. Dabei zeigt sich aber die Merkwürdigkeit, dafs diese beiden, auch nach dem Hervorgehen aus dem Doppelspath getrennt bleibenden Strahlen, wenn sie auf einen zweiten Kalkspath fallen, unter gewissen Umständen in zwei getrennte Strahlen aufs neue zerspalten werden, unter andern Umständen aber keiner neuen Zerlegung in zwei Strahlen unterworfen sind. Um diese Ungleichheit nur an *einem* Beispiele zu zeigen, wollen wir einen senkrecht auf die natürliche Oberfläche des Krystalls fallenden Lichtstrahl betrachten. Dieser wird in zwei Strahlen zerspalten, deren einer ganz ungebrochen eintritt und durch die andere Oberfläche, wenn sie dieser parallel ist, auch ungebrochen wieder austritt, wie es den gewöhnlichen Brechungsgesetzen gemäfs ist; der zweite Strahl dagegen erleidet eine Brechung. Läfst man beide hervorgegangene Strahlen auf einen zweiten Doppelspathkrystall fallen, dessen Axe, nämlich die zwischen den stumpfen Winkeln eines gleichseitigen Krystalls gezogene Axe, der Axe des ersten parallel ist und

1 S. Art. *Inflexion*.

dessen Oberflächen den Oberflächen des ersten parallel sind, so erfolgt keine neue Zerspaltung, sondern der erste Strahl geht ganz den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung gemäſs, der zweite ganz den Gesetzen der ungewöhnlichen Brechung gemäſs fort; dreht man dagegen den zweiten Krystall so, daſs zwar die Oberflächen des Eintritts und Austritts denen des ersten Krystalls parallel bleiben, jene Axe aber nicht der Axe des ersten parallel bleibt, so zerspalten sich beide Strahlen und die zwei aus jedem einzelnen Strahle hervorgehenden sind von ungleicher Intensität, wenn die Axen wenig von der Parallelität abweichen, werden gleich an Intensität, wenn die Drehung bis 45 Grade fortgeschritten ist, und werden wieder ungleich bei weiterem Fortdrehen; ist man bis zu 90 Graden Drehung gekommen, so hat man nicht mehr vier, sondern nur zwei Lichtstrahlen und der im ersten Krystalle gewöhnlich gebrochene ist im zweiten ungewöhnlich gebrochen, der im ersten ungewöhnlich gebrochene ist im zweiten gewöhnlich gebrochen. Hier zeigt sich also in den Eigenschaften beider Lichtstrahlen eine Abhängigkeit der Erscheinungen von der Lage der Axe des Krystalls [1].

Eine ebensolche Verschiedenheit zeigt sich bei Sonnenstrahlen, die von unbelegtem Glase zurückgeworfen werden. Am vollkommensten treten diese Verschiedenheiten hervor, wenn die Reflexion am Glase unter einem Winkel von 35 Graden statt findet [2], der einfallende Strahl nämlich diesen Winkel mit der Oberfläche des Glases macht; dann ist der reflectirte Strahl nicht unter allen Umständen fähig, von einem zweiten Glase reflectirt zu werden, sondern wenn man einen zweiten Spiegel immerfort dem Strahle so darbietet, daſs dieser unter eben jenem Winkel von 35° auffällt, so wird er reflectirt, wenn der zweite Spiegel entweder dem ersten parallel, oder um den Strahl bei gleich bleibender Neigung gedreht bis zu 180° fortgerückt ist, dagegen wird er nicht reflectirt, wenn man mit der Drehung bis 90° oder bis 270° gekommen ist, und in den dazwischen liegenden Stellungen findet eine mehr oder minder erhebliche Reflexion statt. Um dieses Experiment mit Leichtigkeit und ohne Apparat

---

1 S. Art. *Brechung*, *doppelte*.

2 Herschel setzt diesen Winkel nur 33°; im Artikel *Polarisation* wird über die Bestimmung dieses Winkels das Nähere vorkommen.

Fig. 32. anzustellen, lasse man sich ein rechtwinkliges Dreieck von dünnem Holze schneiden, dessen einer Winkel A = 35 Grade beträgt; man stelle auf der Linie a b an dem horizontalliegenden Dreiecke eine an der Hinterseite geschwärzte Glasplatte als Spiegel vertical auf und bringe eine Lichtflamme B in eine solche Stellung, daſs das bei C gehaltene Auge sie mitten im Spiegel a b sieht. Nachdem man dieses eingerichtet hat, lege man in d e ein prismatisches Holzstück, dessen auf d e vertical stehende Grundfläche bei d einen Winkel von 35 Gr. hat, und lege an die von d C sich unter diesem Winkel geneigt erhebende Seite ein zweites auf der Hinterseite geschwärztes Glas, so sieht man die aus der Spiegelung auf a b zum zweiten Male auf d e gespiegelte Lichtflamme nur höchst matt, statt daſs sie viel deutlicher hervorgeht, wenn man die Neigung des Spiegels d e verändert.

Der Lichtstrahl verliert also bei der Zurückwerfung von einer geschwärzten Glasplatte unter jenem bestimmten Winkel fast völlig die Fähigkeit, unter den angegebenen Umständen zum zweiten Male reflectirt zu werden, obgleich er unter andern Umständen zurückgeworfen wird; er wird, wie man sich ausdrückt, *polarisirt*. Und eben der Lichtstrahl, welcher die Fähigkeit verloren hat, von jener zweiten Glasplatte reflectirt zu werden, geht dagegen ungeschwächt durch eine Glasplatte hindurch und kann selbst durch eine Reihe paralleler Glasplatten, die eben jene Stellung haben, durchgehn, ohne eine erhebliche Schwächung zu leiden, weil alles, was in ihm sonst der Zurückwerfung an jeder Oberfläche der Gläser unterworfen gewesen wäre, hier keine Zurückwerfung leidet.

Obgleich es hier nur meine Absicht ist, von den mannigfaltigen Erscheinungen, welche die Polarisirung des Lichtes darbietet, einige der auffallendsten zu erwähnen [1], so muſs ich doch einige Augenblicke bei der Uebereinstimmung zwischen diesen polarisirten Strahlen und den im Doppelspathe oder andern doppelt brechenden Krystallen gespaltenen Strahlen verweilen. Der aus dem Doppelspathe hervorgegangene gewöhnlich gebrochene Strahl ist eben so wenig fähig, von einem unter dem Polarisationswinkel ihm dargebotenen unbelegten Glasspiegel, dessen Reflexionsebene senkrecht gegen die Hauptebene des Krystalles ist, reflectirt zu werden, als es der auf die vorhin beschriebene

1 Vollständig werden sie im Artikel *Polarisirung* abgehandelt.

Weise vom ersten Spiegel reflectirte Lichtstrahl war, und umgekehrt, wenn der aus dem ersten Spiegel nach der Reflexion unter dem Polarisationswinkel von 35° hervorgehende Lichtstrahl senkrecht auf die Oberfläche eines Doppelspath-Krystalles fällt, so verhält er sich genau so, wie es derjenige Theil eines schon durch einen andern Doppelspathkrystall gegangenen Strahles thut, welcher in diesem die gewöhnliche Brechung erlitten hat. Auf dieser Uebereinstimmung beruht die Erscheinung, welche man der Depolarisirung jenes Strahles zuschreibt. Um diese anzugeben, will ich annehmen, man habe vom ersten Spiegel das von weifsen, glänzenden Wolken ausgegangene Licht unter dem richtigen Winkel zurückwerfen lassen, stelle den zweiten Spiegel so, dafs er das durch den ersten Spiegel polarisirte Licht nicht zurückwirft, und blicke nun in diesen zweiten Spiegel. Man kann bei diesem Hineinblicken leicht die Stellung des Auges so wählen, dafs man darin das Bild der Wolken sehen müfste, wenn die Strahlen noch reflectirt würden, indem man nur nöthig hat, den zweiten Spiegel aus seiner Stellung zu bringen, wo man dann den ersten Spiegel als jene Wolken zeigend im zweiten Spiegel sieht; führt man dann den zweiten Spiegel zu seiner richtigen Stellung zurück, so überzeugt man sich leicht, dafs der erste Spiegel mit seinem Wolkenbilde noch immer im Gesichtsfelde bleibt, aber, fast in völliges Schwarz versunken, kaum noch sichtbar ist. Während das Auge in dieser Stellung bleibt, bringe man einen Doppelspathkrystall so zwischen beide Spiegel, dafs der vom ersten Spiegel kommende Strahl die natürliche Oberfläche des Krystalls immerfort senkrecht treffe, aber drehe ihn dabei um eine mit jenen Lichtstrahlen parallele Axe; dann sieht man das helle Bild der Wolken im zweiten Spiegel wieder erscheinen und abermals verschwinden, je nachdem bei der Drehung des Krystalls die oben beschriebene Axe desselben verschiedene Lagen erreicht; liegt diese kürzeste Axe in der Reflexionsebene des ersten Spiegels oder senkrecht auf dieselbe, so ist der zweite Spiegel dunkel oder wirft keine aus dem ersten Spiegel reflectirten, durch den Krystall durchgegangenen Strahlen zurück; befindet sich die kürzeste Axe des Krystalls in der Mitte zwischen jenen beiden Lagen, so sieht man deutlich und mit vielem Lichte das Bild der Wolken, oder die aus dem ersten Spiegel kommenden Strahlen haben ihre Fähigkeit, reflectirt zu werden, wieder erhalten, sie sind depolarisirt. Noch auffal-

lender wird die Erscheinung, wenn der vom ersten Spiegel kommende Lichtstrahl, ehe er den zweiten Spiegel erreicht, durch Selenitblättchen oder durch sehr dünne Scheiben blätterigen Gypses (namentlich von Mont-Martre) geht. Obgleich diese Körper selbst durchaus farbenlos sind, so erscheint dennoch das Bild der weiſsen Wolken im zweiten Spiegel aufs schönste gefärbt und diese Farben hängen von der Dicke jener durchsichtigen Blättchen ab. Die Erscheinung verhält sich ganz so, als ob hier bei einer gewissen Dicke, bei der dreifachen Dicke, bei einer fünffach so groſsen Dicke und so ferner nur einem gewissen Farbenstrahle, den wir uns als in dem weiſsen polarisirten Strahle enthalten denken, die Fähigkeit, zurückgeworfen zu werden, wieder ertheilt werde, statt daſs dieser Farbenstrahl bei der doppelten, bei der vierfachen Dicke u. s. w. diese Eigenschaft nicht erhält. Und so wie bei den Anwandlungen oder den Newton'schen Farbenringen jeder Dicke des durchsichtigen Körpers eine andere Farbe als durch Zurückwerfung sichtbar werdend entspricht, so zeigen sich, genau nach eben den Gesetzen, andere Farben, wenn man Blätter desselben Minerals von ungleicher Dicke und zwischen die Vielfachen der Dicke, die jener einen Farbe entsprechen, hineinfallend wählt. Dieses mag als kurze Andeutung dieser merkwürdigen Phänomene hier genügen.

Ich habe bei dem Lichte glühender fester Körper erwähnt, daſs es sich schon als im Hervorgehn aus dem glühenden Körper in einigem Grade polarisirt zeige. Dieses erkennt man daran, daſs ein glühendes kleines Körperchen durch den Doppelspath betrachtet zwar auch doppelt erscheint, aber die beiden Bilder ungleich an Lichte sind, statt daſs ein von der Sonne erhellter kleiner Raum verdoppelt erscheint und beide Bilder sich gleich hell zeigen. Auch bei jenem glühenden Körper findet es nämlich statt, daſs die von ihm ausgehenden Lichtstrahlen im Doppelspathe in zwei Strahlen zerspalten werden; aber da unter jenen Lichtstrahlen einige polarisirte, das ist dieser Zerspaltung nicht mehr fähige, vorhanden sind, so tragen diese nur zur Verstärkung des einen Bildes bei, und je ungleicher beide Bilder uns erscheinen, desto mehr verrathen sie uns, daſs eine bedeutende Menge der von diesen Körpern ausgehenden Lichtstrahlen in dem Zustande sind, den wir, ohne uns hier in weitere Erklärung einzulassen, den Zustand der Polarisirung genannt haben.

B.

III. Chemische Wirkungen des Lichts.

Man versteht hierunter Aenderungen wägbarer Stoffe, durch Einwirkung des Lichts hervorgebracht. Diese Aenderungen bestehen gewöhnlich darin, dafs das Licht wägbare Materien veranlafst, sich chemisch zu vereinigen, oder umgekehrt die Verbindung derselben aufhebt; bei einigen Aenderungen der wägbaren Stoffe durch das Licht hat man jedoch etwas der Art noch nicht nachweisen können.

Die wichtigsten chemischen Wirkungen sind folgende:

Ein Gemenge aus gleichen Mafsen Chlorgas und Wasserstoffgas, in farblosem Glase eingeschlossen, bleibt nach Gay-Lussac und Thénard bei gewöhnlicher Temperatur im Dunkeln unverändert; im Tageslichte erfolgt die Verbindung beider Stoffe zu Salzsäure langsam, im Sonnenlichte augenblicklich und unter Verpuffung. Diese Verpuffung erfolgt nach Bischof auch, wenn das Gasgemenge in blauem Glase eingeschlossen ist; nach Seebeck erfolgt in diesem die Verbindung in 1 Minute ohne Verpuffung und unter rothem Glase geht die Verbindung gar nicht oder sehr langsam vor sich. Die Verpuffung erfolgt im Freien bei stark scheinender Sonne oft schon im Schatten, umgekehrt kann, wenn man die Füllung des Glases mit den Gasen unter trübem Wasser vornimmt, schon die sich an die Wandungen absetzende trübende Materie die rasche Verbindung mit Verpuffung hindern. Nach Seebeck bewirkt auch das Licht des indianischen Weifsfeuers die Verpuffung; nach Bischof weder dieses, noch das Licht des auf 2 entgegengesetzten Seiten vom Gasgemenge in Sauerstoffgas verbrennenden Phosphors. Brande bewirkte die Verbindung, oft selbst mit Explosion, durch das lebhafte Licht der die Kette einer starken Voltaischen Säule schliefsenden Kohle. — Auch ein wenigstens bis zu 150° C. erwärmter Ziegelstein oder ein flammender Körper, in das Gasgemenge gebracht, bewirkt die Verpuffung. — Das Chlorgas, mit einem gleichen Mafse Kohlenoxydgas gemengt, vereinigt sich mit ihm nur bei Einwirkung des Lichts, um Phosgengas zu bilden. — Wasser, mit Chlor gesättigt, entwickelt im Lichte Sauerstoffgas, indem das Chlor aus dem Wasser Wasserstoff aufnimmt, um Salzsäure zu erzeugen. — Chlor, mit Kohlenwasserstoffgas und Wasser in Berührung, bewirkt blofs im Lichte Zersetzung und erzeugt dabei, indem es den Wasserstoff des Koh-

lenwasserstoffgases und des Wassers aufnimmt und den Sauerstoff des Wassers auf den Kohlenstoff überträgt, Salzsäure und Kohlensäure.

Die Auflösung des Stärkmehls in kochendem Wasser, durch Iod gebläut, entfärbt sich nach GROTTHUSS im Lichte, sofern dieses das Iod disponirt, sich durch Aufnahme von Wasserstoff aus dem Stärkmehl in Hydriodsäure zu verwandeln. Diefs erfolgt im Brennpuncte des Hohlspiegels in einigen Minuten, übrigens in farblosem, gelbem und grünem Lichte am vollständigsten, schwach im rothen und blauen, gar nicht im violetten Strahle, welcher umgekehrt die entfärbende Wirkung des Tageslichts aufhebt.

Mehrere organische Verbindungen nehmen blofs bei Einwirkung des Lichts (oder einer höhern Temperatur) aus der Luft Sauerstoff auf, welcher, indem er sich mit dem Kohlenstoff oder Wasserstoff der organischen Verbindung vereinigt, dieselbe in ihrer Zusammensetzung verändert, womit bald Entfärbung, bald Färbung gegeben ist. Mit Safflor, Blausalz, Brasilienholz, Curcuma oder Wau gefärbte Zeuge, längere Zeit dem Sonnenlichte ausgesetzt, entfärben sich und werden zugleich morsch. GAY-LUSSAC und THÉNARD zeigten, dafs dieselbe Veränderung im Dunkeln in wenigen Stunden eintritt, wenn man diese Zeuge in einem Luftstrome bis zu 160 bis 200° C. erhitzt. Die Blumenblätter der Klatschrose werden nach A. VOGEL im Sonnenlichte schneller hinter blauem Glase entfärbt, als hinter farblosem. Viele rothe und blaue Blumen verbleichen, nachdem sie sich aus der Knospe entfaltet haben, mehr oder weniger, und zwar nach PAJOT DESCHARMES schneller bei hellem Wetter, als bei trübem. Die durch Ausziehen grüner Pflanzentheile mit Weingeist erhaltene Tinctur wird vom Lichte gebleicht, doch hält sie sich nach GROTTHUSS im blaugrünen Strahl des Spectrums am längsten. Das Pulver des Guajakharzes oder mit der Auflösung desselben in Weingeist befeuchtetes Papier wird durch das farblose und blaue Licht grün gefärbt, nicht durch rothes, welches nach WOLLASTON die durch das Licht erzeugte grüne Farbe wieder zu Gelb zurückführt.

Es entziehen manche organische Stoffe verschiedenen mit Säuren verbundenen Metalloxyden oft erst dann ihren Sauerstoff, wenn Licht einwirkt, wodurch bald gänzliche, bald theilweise Reduction hervorgebracht wird. Salzsaures Uranoxyd, in Aether

gelöst, verwandelt sich nach Gehlen in salzsaures Uranoxydul. Salzsaures Eisenoxyd in Aether gelöst wird darin zu salzsaurem Eisenoxydul. Schwefelblausaures Eisenoxyd in Weingeist gelöst wird zu schwefelblausaurem Eisenoxydul, womit Entfärbung der rothen Lösung eintritt, und zwar erfolgt dieses nach Grotthuss im Brennpuncte des Hohlspiegels in wenigen Minuten; von allen Strahlen des Spectrums wirkt nach ihm der blaugrüne am schnellsten und auch das Licht einer Argand'schen Lampe bewirkt die Entfärbung bei 1 Zoll Entfernung. Salzsaures Kupferoxyd in Aether gelöst wird am Licht in das dem salzsauren Kupferoxydul entsprechende Halbchlorkupfer verwandelt; ebenso Sublimat in Calomel und salzsaures Goldoxyd und Platinoxyd, in Aether gelöst, entfärben sich beträchtlich im Lichte. Leinwand, Papier, Oberhaut u. s. w., mit salzsaurem Silberoxyd befeuchtet und getrocknet, schwärzen sich nur am Lichte, ohne Zweifel durch Desoxydation des Silbers; mit salzsaurem Goldoxyd befeuchtet färben sie sich nur am Lichte purpurroth, sofern das Goldoxyd zu rothem Goldsuboxyd reducirt wird. Kohle und flüchtige Oele, zu Gold- oder Silberlösungen gebracht, schlagen nur im Lichte (oder bei hoher Temperatur) daraus die regulinischen Metalle nieder.

Während in den angeführten Fällen das Licht die Bindung des Chlors und Sauerstoffes an verschiedenen Materien begünstigt, so hebt es in den folgenden die Verbindungen dieser Stoffe mit andern auf und macht sie in Gasgestalt frei.

Weifses Hornsilber, wie man es durch Fällung der salpetersauren Silberlösung durch Kochsalz und Auswaschen erhält, wird am Lichte erst violett, dann schwarz. Diese Schwärzung ist nach den neueren Versuchen Wetzlar's mit der Entwickelung von Chlorgas verbunden und das geschwärzte Hornsilber unterscheidet sich von weifsem durch einen geringern Gehalt an Chlor, so dafs es als ein Chlorsilber im Minimum zu betrachten ist. Das weifse Hornsilber, noch feucht auf weifses Papier gestrichen, zeigt folgende Verhältnisse gegen die verschiedenen Arten von Licht.

Im Spectrum wird es, wie schon Scheele fand, durch den violetten Strahl am stärksten geschwärzt. Selbst aufserhalb des violetten Strahls tritt nach Ritter's, von Wollaston bestätigter, Beobachtung noch Schwärzung ein und nach Bérard zeigt der äufserste Rand des Violetts die Schwärzung am stärk-

sten. Vom Violett gegen Roth zu nimmt die schwärzende Wirkung immer mehr ab. Das mit Hornsilber überzogene Papier wird nach SEEBECK im violetten Strahl und über denselben hinaus röthlich braun, im blauen blau oder blaugrau, im gelben sehr schwach gelb, im rothen röthlich und unter dem rothen schwach röthlich, und zwar fällt bei Flintglasprismen, bei welchen sich die gröfste erwärmende Kraft aufserhalb des rothen Strahles zeigt, auch die Röthung ganz aufserhalb desselben. Concentrirt man das Spectrum von Grün bis Roth durch eine Linse, so erhält man einen blendenden Focus, der nach BÉRARD das Hornsilber selbst in 2 Stunden nicht schwärzt. In dem Roth, welches man durch das Zusammenfallen von Violett und Roth zweier verschiedenen Prismen erhält, färbt sich das Hornsilber nach SEEBECK schön kermesinroth und am Tageslicht grau gewordenes Hornsilber wird im rothen Strahle nach längerer Zeit blasser und röthlich. Auf dieselbe Weise verhält sich das durch verschieden gefärbte Gläser fallende Licht. Unter violetten, blauen und blaugrünen Gläsern wird das Hornsilber nach SEEBECK geschwärzt und zwar zeigt die Schwärzung unter violetten Gläsern eine mehr röthliche, unter blauen eine mehr bläuliche Beimischung; unter gelbgrünen und gelben Gläsern bleibt es fast unverändert; unter gelbrothen wird es nach längerer Zeit schwach röthlich, und das durch farbloses Licht geschwärzte Hornsilber färbt sich unter gelbrothem Glase bald heller und schmutziggelb oder röthlich. Nach BRANDE wird das Hornsilber nicht durch das lebhafteste, beim Verbrennen des Oelgases erzeugte Licht geschwärzt und nach GAY-LUSSAC nicht durch das mittelst einer starken Linse concentrirte Mondlicht. — Mit dieser Schwärzung des Hornsilbers durch das Licht ist auch die des Calomels (Chlorquecksilbers) verwandt, welche jedoch höchst langsam erfolgt und bei welcher bis jetzt noch nicht die Entwickelung von Chlorgas bemerkt worden ist.

Fälle von Freiwerden des Sauerstoffs aus seinen Verbindungen durch Einwirkung des Lichtes sind folgende. Concentrirte Salpetersäure zerfällt darin, nach SCHEELE, zum Theil in Sauerstoffgas und salpetrige Säure, und zwar erfolgt dieses nach SEEBECK hinter farblosem und blauem, nicht hinter gelbrothem Glase. Viele Metalloxyde, für sich oder an eine Säure gebunden, entwickeln im Licht Sauerstoffgas und werden dadurch ganz oder theilweise reducirt. So zerfällt braunes Bleioxyd in

rothes Oxyd und Sauerstoffgas; Quecksilberoxyd unter Wasser hinter farblosem oder blauem, nicht hinter rothem Glase nach Seebeck in Sauerstoffgas und Quecksilberoxydul; in Wasser gelöstes salzsaures Quecksilberoxyd nach Boullay in Sauerstoffgas, Salzsäure und Calomel; Goldoxyd in Sauerstoffgas und Gold. So ist auch das Licht zum Leben, wenigstens der höheren Pflanzen durchaus erforderlich, sofern blofs in ihm, ohne dafs höhere Temperatur dasselbe zu ersetzen vermöchte, die Zerlegung der Kohlensäure in sich entwickelndes Sauerstoffgas und in zurückbleibenden Kohlenstoff erfolgt; auch hier zeigt sich nach Senebier und Tessier das violette Licht unter den gefärbten Strahlen am wirksamsten, während die Pflanzen unter gelbem Glase blasser werden.

Zu den Veränderungen wägbarer Stoffe durch Licht, welche man bis jetzt weder von der Bildung einer neuen Verbindung wägbarer Stoffe, noch von der Aufhebung einer schon vorhandenen ableiten kann, gehört vorzüglich die Verwandlung des Phosphors in eine rothe, minder leicht schmelzbare und minder entzündliche Materie. Man leitete diese Veränderung gewöhnlich von einer schwachen Oxydation desselben her; allein die Versuche von Böckmann und A. Vogel haben gezeigt, dafs der Phosphor sich fast in allen durchsichtigen Medien, auch in solchen, die keine Spur von Sauerstoff enthalten, am Lichte röthet, wie im luftleeren Raume, in Stickgas, Wasserstoffgas u. s. w. Diese Wirkung des Lichtes zeigt sich hinter farblosem und blauem, aber nicht oder sehr langsam hinter rothem Glase.

Diese chemischen Wirkungen kommen, wie aus dem Angeführten ersichtlich ist, den verschieden gefärbten Lichtstrahlen nicht in gleichem Maafse zu. Das farblose und das violette Licht zeigt dieselben am stärksten; auf diese folgt der blaue Strahl u. s. w., so dafs der rothe die Wirkung entweder am schwächsten zeigt, oder sogar eine der Wirkung des violetten Strahls entgegengesetzte besitzt. Diese Verschiedenheit zeigt sich sowohl bei dem gefärbten Lichte, das man erhält, wenn man farbloses Licht durch verschieden gefärbtes Glas fallen läfst, als bei dem mittelst des Prisma's erhaltenen. Im letztern Falle zeigt sich aufserdem noch die auffallende Erscheinung, dafs auch noch aufserhalb des violetten Strahls chemische Wirkungen, wie Schwärzung des Hornsilbers, eintreten. Man kann deshalb in dem durch das Prisma erzeugten Spectrum aufser dem

Licht-Spectrum, welches seine gröfste Helligkeit bei Gelb und Grün zeigt, und aufser dem Wärme-Spectrum, dessen höchster Punct sich im Roth befindet, auch noch ein diesem entgegengesetztes chemisches Spectrum unterscheiden, welches seine gröfste Kraft im Violett zeigt, von wo aus dieselbe nach beiden Seiten hin abnimmt und zwar gegen das Roth hin in solchem Maafse, dafs hier die chemische Wirkung aufhört oder sogar eine derselben entgegengesetzte eintritt. Letzteres läfst sich aus der blasseren Färbung des im farblosen oder violetten Lichte geschwärzten Hornsilbers im rothen Lichte ableiten, so wie aus dem andern Versuche von Seebeck, dafs, wenn man einen Leuchtstein dem farblosen oder violetten Lichte ausgesetzt hatte, wo er im Dunkeln leuchten würde, er nach einiger Bestrahlung mit rothem Lichte dieses Vermögen verliert.

Sofern die chemische Wirkung des Lichts zum Theil auf der Entwickelung von Sauerstoff aus seinen Verbindungen beruht, hat man die violetten Strahlen *desoxydirende*, die diesen entgegengesetzten rothen *oxydirende* genannt, doch mit Unrecht, da die chemische Wirkung oft gerade in einer Oxydation besteht, wie bei der Entfärbung vieler Farbstoffe und der grünen Färbung des Guajakharzes.

Gay-Lussac und Thénard suchten die chemischen Wirkungen des Lichts daraus zu erklären, dafs dasselbe Wärme entwickle. Allerdings bewirkt eine höhere Temperatur oft dieselben Veränderungen, wie die Verbindung des Chlors mit Wasserstoff, die Entfärbung der Zeuge an der Luft u. s. w. Jedoch manche, wie die Röthung des Phosphors, lassen sich erst durch Glühhitze bewirken, andere, wie die Entwickelung des Sauerstoffgases durch Pflanzen, gar nicht durch Temperaturerhöhung. Es ist nicht denkbar, dafs das Licht, welches oft nur Tageslicht zu seyn braucht, um chemische Wirkungen zu zeigen, beim Auffallen auf die Körper stellenweise eine so hohe Temperatur hervorbringt. Dazu kommt, dafs gerade der am kräftigsten wirkende violette Strahl des Prisma's der kälteste und der am wenigsten wirkende rothe Strahl der wärmste ist. *G.*

IV. Theorieen zur Erklärung der Phänomene des Lichts.

1. In Beziehung auf die optischen Erscheinungen.

In der Erzählung der Erscheinungen, welche das Licht uns darbietet, habe ich, so viel es irgend möglich war, alles vermieden, was eine Hypothese über die Natur des Lichtes andeuten konnte; denn von Lichtstrahlen, als dem uns kenntlich werdenden Wege der Wirkungen des Lichtes, wird man reden müssen, man mag über die Natur des Lichtes annehmen, welche Hypothese man will. Aber diese bloſse Erzählung der Erscheinungen kann uns, ohne ein ordnendes Princip, nicht genügen, und dieses setzt eine Hypothese über die Natur des Lichtes voraus, an welche sich Theorieen über die Einwirkung, welche das Licht bei der Zurückwerfung, Brechung u. s. w. erleidet, anschlieſsen können. Es giebt nur zwei Hypothesen, die, weil sie eine mathematische Entwickelung der auf sie gebauten Theorieen gestatten, hier umständlich erwähnt zu werden verdienen, von einer dritten Hypothese, die einer solchen Entwickelung entweder gar nicht fähig ist, oder wenigstens noch keine solche Ausbildung erhalten hat, werde ich am Schlusse kurz reden.

A. Emissionstheorie.

Newton ist als der Urheber derjenigen Theorie anzusehen, welche annimmt, daſs das Licht aus materiellen Theilchen besteht, die durch ihre Einwirkung auf unser Auge die Empfindung des Sehens hervorbringen und sowohl den anziehenden, als auch den abstoſsenden Kräften der Körper, an deren Oberfläche sie sich befinden, unterworfen sind [1]. Diese Theorie ist in der neuesten Zeit von Biot [2] und Herschel [3] sorgfältig er-

---

1 Aus den von Kämtz zusammengestellten Aeuſserungen Newton's (Schweigg. XLV. 176.) erhellet zwar, daſs er die Möglichkeit, auch aus der Vibrationstheorie die Erscheinungen zu erklären, nicht gänzlich unbeachtet lieſs; aber dennoch zeigen die in den Principiis vorgetragene Theorie der Brechung und die entschiedenen Ausdrücke in der Optik, daſs er jener Theorie den Vorzug gab, ohne indeſs das Bestreben, den Gegenstand von allen Seiten zu betrachten, ganz aufzugeben.

2 Traité de Phys. IV.

3 On Light.

klärt und sowohl von ihnen, als auch von Laplace vervollständigt worden, und diesen Vervollkommnungen gemäſs werde ich sie hier vortragen.

Nach dieser Emissionstheorie gehen von jedem selbstleuchtenden Körper auf eine nicht weiter erklärliche Weise Lichttheilchen aus und die durch fremde Erleuchtung sichtbaren Körper senden die an sie antreffenden Lichttheilchen durch mannigfaltige Zurückwerfung eben so von sich. Der Einwurf, daſs diese zahllos ausgesandten Lichttheilchen an einander treffen und gegenseitig ihren Lauf stören müſsten, läſst sich als nicht so sehr wichtig ansehen, da die Zwischenräume zwischen den einzelnen Lichttheilchen in der That sehr groſs seyn dürfen. Es ist bekannt [1], daſs eine im Kreise geschwungene glühende Kohle unserm Auge einen ganzen leuchtenden Kreis zeigt, daſs also der Eindruck auf unser Auge lange genug dauert, um uns Puncte als leuchtend erkennen zu lassen, wenn auch nur in jedem Zehntel der Secunde ein Lichtstrahl von denselben ausgeht. Da nun das Licht in 1 Sec. 40000 Meilen durchläuft, so können die Lichttheilchen um mehr als 1000 Meilen, ja um 4000 Meilen von einander entfernt seyn und der unterbrochene Eindruck derselben auf unser Auge kann dennoch eine für unser Bewuſstseyn als ununterbrochen erscheinende Empfindung hervorbringen; bei so groſsen Zwischenräumen aber verliert der Einwurf, daſs die Lichttheilchen einander beim Durchkreuzen ihrer Richtungen treffen [2] und den Bewegungen der Planeten einen Wi-

1 Vergl. Art. *Gesicht.* Bd. IV. S. 1456.

2 Es verdient aber hierbei doch noch eine Reihe von Versuchen erwähnt zu werden, die es zweifelhaft macht, ob man im strengsten Sinne behaupten darf, daſs die sich durchkreuzenden Lichtstrahlen ganz und gar ungehindert ihren Weg fortsetzen. Kater nämlich zeigt aus Versuchen, die, was die Hauptsache betrifft, gut mit einander übereinstimmen, daſs die Erleuchtung durch die Lichtstrahlen, ehe sie den Brennpunct eines Hohlspiegels erreichen, gröſser ist, als nachdem sie durch diesen durchgegangen sind. Unter seinen Versuchen gewähren folgende am meisten die Ueberzeugung, daſs diese Behauptung richtig sey. Phil. Transact. for 1814. p. 237. Er brachte an einem Hohlspiegel von 4,6 Zoll Durchmesser und 22,5 Zoll Brennweite einen Stab an, welcher zwei zum Verschieben eingerichtete weiſse Charten trug; auf jeder derselben war ein Kreis von $\frac{1}{7}$ Zoll Durchmesser weiſs gelassen, statt daſs das Uebrige geschwärzt war; man fing das reflectirte Licht auf diesen Charten auf und suchte dabei die Stellung der

derstand leisten müfsten, einen grofsen Theil seiner Kraft. Der Einwurf, dafs die leuchtenden Körper endlich an Masse verlieren müfsten, läfst sich allerdings nicht widerlegen; aber er wäre, da wir uns einen Ersatz von anderer Seite her denken können, eben nicht der wichtigste, wenn sonst alles für diese Hypothese spräche. Die wichtigere Frage, wodurch denn in unaufhörlichem Fortgange diese Theilchen, wenn sie auch unbegreiflich klein sind, mit so grofser Gewalt fortgeschleudert werden, läfst sich ebenfalls nicht beantworten; indefs tritt bei der zweiten Hypothese eine ähnliche, gleich schwierige Frage ein.

Auf diese Lichttheilchen wirken die Körper anziehend, und dadurch erklären sich höchst genügend die Brechungen des Licht-

---

einen Charte, in einer kleineren Entfernung als die Brennweite, so zu wählen, dafs sie eben so stark erleuchtet erschien, als die zweite Charte, die jenseit des Brennpunctes aufgestellt war. Allemal fand man die über den Brennpunct hinaus aufgestellte Charte diesem viel näher, als diejenige, die zwischen dem Spiegel und dem Brennpuncte stand, obgleich doch die Erleuchtung in *gleichen* Abständen hätte gleich seyn sollen. Kater fand bei einer Reihe von Beobachtungen, dafs bei gleicher Erleuchtung die Abstände vor und hinter dem Focus sich wie 1525 zu 1000 verhielten, wo nach der Berechnung die Erleuchtung im Verhältnifs 430 zu 1000 seyn sollte, aber sich als gleich ergab. Bei Abänderung der Versuche, namentlich bei denen, wo zwei Lampen in verschiedenen Abständen angewandt wurden, ergaben sich zwar Zahlen, die von den vorigen erheblich abweichen, aber darin wenigstens stimmten sie überein, dafs immer die Erleuchtung durch diejenigen Strahlen, welche sich im Brennpuncte noch nicht durchkreuzt hatten, stärker war. Eine Bemerkung, die schon Brewster gemacht hat, dafs die kreisförmigen Durchschnitte des Lichtkegels hinter dem Brennpuncte nie so scharf begrenzt zu seyn pflegen, als vor dem Brennpuncte, scheint auch hieher zu gehören. Brewster on new philos. instruments. p. 44. 193.

Dafs übrigens diese Verminderung der Wirksamkeit der Lichtstrahlen bei einer so nahen Vereinigung vieler Strahlen sich eben so gut aus der Undulationstheorie erklären liefse, als aus der Emissionstheorie, versteht sich von selbst; denn die sich so zahlreich im Brennpuncte durchkreuzenden Wellen können allerdings eine Hinderung ihrer Wirksamkeit erleiden, so wie dagegen, nach der Emissionstheorie, von einem gehinderten Fortgange der Lichtpartikeln, so dafs sie nicht mehr sämmtlich über den Brennpunct hinaus in ihren richtigen Directionen fortgingen, die Rede seyn müfste.

strahls; aber auch abstofsend müssen die Körper wirken, wie die Zurückwerfung der Strahlen zeigt. Und hierbei zeigt sich nun eine eigenthümliche Verschiedenheit des Zustandes, in welchem die Lichttheilchen sich befinden können, indem sie abwechselnd bald leichter der Zurückwerfung, bald leichter der Durchlassung fähig sind.

Dafs die anziehende Kraft der Körper, die wir erst in unmittelbarer Nähe als wirksam auf das Licht erkennen, eine Brechung des Lichtstrahles bewirken mufs, indem sie die gegen die Oberfläche des Körpers senkrechte Geschwindigkeit der Lichttheilchen vermehrt, ist im Art. *Brechung* gezeigt worden. Jeder Körper zeigt hier eine, theils mit vergröfserter Dichtigkeit zunehmende, theils aber auch nach der eigenthümlichen Beschaffenheit jedes Körpers specifisch verschiedene Brechungskraft, und das Gesetz, dafs das Brechungsverhältnifs, nämlich das Verhältnifs des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels, bei allen Neigungen des Strahles ungeändert bleibt, sofern der Uebergang immer zwischen denselben Medien statt findet und nur von einfarbigen Strahlen die Rede ist, ergiebt sich als nothwendige Folgerung aus dieser Hypothese. Da der rothe Strahl am wenigsten von seiner Richtung abgelenkt wird, so hat man den in ihm enthaltenen Lichttheilchen eine gröfsere Trägheit (*inertia*) zugeschrieben, indefs scheint mir, da diese doch nur von gröfserer Masse herrühren könnte, auf eine gröfsere Masse aber auch die anziehenden Kräfte mehr Wirkung ausüben, das Phänomen der ungleichen Brechbarkeit besser dadurch erklärlich, dafs alle Körper eine gröfsere Anziehungskraft auf die im violetten Strahle enthaltenen Lichttheilchen ausüben und eine geringere Anziehungskraft auf die übrigen Lichttheilchen in den weniger brechbaren Strahlen; das Gesetz der Ungleichheit dieser Brechung mufs bei verschiedenen Körpern verschieden seyn, so wie es die ungleiche Zerstreuung der Lichtstrahlen angiebt. Diese Verschiedenheit könnte, da wir ähnliche Eigenthümlichkeiten der Einwirkung auf verschiedene Körpertheilchen kennen, am wenigsten befremden. Man hat mehrmals die Hoffnung ausgesprochen, dafs die durch Newton's Theorie angegebene Zunahme der Geschwindigkeit des Lichts in stärker brechenden Körpern sich bei der Beobachtung der Aberration bestätigt finden würde, wenn man ein der ganzen Länge nach mit einem stärker brechenden Mittel ausge-

füllten Fernrohr anwendete. Man schloſs nämlich, da die Tangente des Aberrationswinkels gleich sey der Geschwindigkeit der Erde dividirt mit der Geschwindigkeit, die der Lichtstrahl im Durchlaufen des Fernrohrs hat, so werde dieser Divisor gröſser, folglich der Aberrationswinkel kleiner seyn bei einer das Licht schneller durch sich hindurch lassenden Materie. Aber diesen noch kürzlich von Tralles[1] angegebenen Gedanken hat schon Wilson[2] und neuerlich Biot[3] widerlegt. Diese Widerlegung scheint mir am deutlichsten so geführt zu werden. Es sey AB der das eine Ende des Fernrohrs treffende Lichtstrahl, CD der Raum, durch welchen die Erde fortgeht, während das Licht den Raum BD durchläuft, so ist, wenn kein brechendes Medium den Raum BC ausfüllt, die Richtung BC die richtige, in welcher der Lichtstrahl zu dem Auge bei C gelangt, und CBD der Aberrationswinkel. Ist dagegen BC mit einer brechenden Materie erfüllt, auf deren gegen CB senkrechte Oberfläche der Lichtstrahl trifft und die den Brechungswinkel $= \frac{m}{n}$ des Einfallswinkels macht (da man hier gewiſs Winkel und Sinus verwechseln kann), so würde bei ruhender Erde der Winkel $CBd = \frac{m}{n} . CBD$ seyn (weil CB das Einfallsloth ist), oder bei so kleinen Winkeln zugleich $Cd = \frac{m}{n} CD$. Die Geschwindigkeit des Lichts ist in dem brechenden Körper im umgekehrten Verhältniſs vergröſsert, und die Erde durchläuft also nur den Raum Cd, während der Lichtstrahl die Länge des Fernrohrs durchläuft; die vorige Stellung bleibt also die richtige, indem bei doppelt so schneller Bewegung des Lichts schon die Brechung einen Theil der Ablenkung genau so hervorbringt, daſs der Ueberrest der vermehrten Geschwindigkeit gemäſs ist.

Fig. 33.

Aber von einer andern Seite scheint eine Prüfung der Newton'schen Theorie möglich zu seyn. Obgleich das Verhältniſs der Geschwindigkeiten vor dem Eintritte in den dichteren Kör-

1 Abh. d. Acad. zu Berlin 1820. S. 133.
2 Phil. Transact. for 1782. p. 58.
3 Traité élément. d'astron. phys. Sec. Ed. Tome III. p. 137.

per und nach dem Eintritte von der Richtung des Strahls unabhängig ist, so ist es doch nicht von der Geschwindigkeit vor dem Eintritte unabhängig, sondern in den Formeln[1] ist $\frac{u'}{v} = \sqrt{(1 + \frac{P}{v^2})}$, und da P für schnellere und langsamere Lichtstrahlen, soviel wir einsehen, einerlei ist, so ist das Brechungsverhältniſs von v abhängig. Dieses v ist offenbar bei beobachteten Gestirnen die relative Geschwindigkeit des Lichttheilchens gegen die bewegte Erde, und folglich, da das Licht sich 10100mal so schnell als die Erde bewegt, so können wir die Wurzelgröſse als zwischen $\sqrt{(1 + \frac{P}{(10101)^2})}$ und $\sqrt{(1 + \frac{P}{(10099)^2})}$ schwankend ansehen. Wenn $\frac{u}{v} = \frac{3}{2}$ ist, im ersten Falle, so hat man $\frac{5}{4} = \frac{P}{(10101)^2}$ oder $\frac{P}{(10099)^2} = \frac{5}{4} \cdot \left(\frac{10101}{10099}\right)^2 =$ 1,250496, und es geht im zweiten Falle $\frac{u}{v}$ in 1,50016 über, so daſs selbst bei einem achromatischen Prisma der Unterschied merklich werden könnte. Arago hat auf Laplace's Vorschlag die Beobachtung angestellt, ob mit einem vor dem Fernrohre eines Wiederholungskreises angebrachten Prisma die Ablenkung stärker sey bei den Sternen, deren Lichtstrahl die vorauseilende Erde erreicht, als bei denen, wo der Lichtstrahl der Richtung der Erde entgegen kommt, aber er hat den Unterschied, der bei seinen Beobachtungen 50″ betragen sollte, als gar nicht vorhanden gefunden. Diese Abweichung der Erfahrung von der Theorie ist um so auffallender, da sie, so viel ich einsehe, eben so wenig mit der Vibrationstheorie, von welcher ich bald reden werde, als mit der Emissionstheorie übereinstimmt. Arago und Biot haben zwar eine Aushülfe darin gesucht, daſs sie annahmen, es gebe Lichttheilchen von ungleichen Geschwindigkeiten, aber nur bei der einen bestimmten Geschwindigkeit würden sie unserm Auge kenntlich, also diejenigen einzig und allein wirkten auf unser Auge, die jene relative Geschwindigkeit gegen das Auge hätten; ich gestehe aber, daſs diese Aushülfe wohl niemanden genügen kann, und daſs daher, wenn die Beobach-

---

1 S. Art. *Brechung*. Th. I. S. 1156.

tung genau ist, diese Beobachtung nach meiner Einsicht noch gänzlich unerklärt ist [1].

Die anziehende Kraft, mit welcher die Körper auf das Licht wirken, muſs sehr groſs seyn. Da sie nämlich nur in einem so kleinen Raume wirksam ist, den man gewiſs nicht auf $\frac{1}{1000}$ Zoll rechnen kann, und dennoch den Lichtstrahl so stark von seiner Richtung ablenkt, so läſst sich ihre überaus groſse Intensität übersehen, ja auch berechnen. Die Geschwindigkeit des Lichtes wächst, nach der Emissionstheorie, beim Eintritte in Glas auf das 1,5fache, und dieses geschieht in einem Zeitraume, der noch kaum ein Zwölfbilliontel der Secunde beträgt; eine Beschleunigung, welche von einer der Schwere gleichen Kraft erst in 15 Millionen Secunden, das ist in einer Zeit, die 180 Trillionen mal so groſs wäre, bewirkt werden könnte, und daraus läſst sich das enorme Verhältniſs dieser Attraction zu der Attraction der Erde übersehen [2].

Diese anziehende Kraft, welche die Körper auf das Licht ausüben, erklärt nicht bloſs die Brechung, sondern auch die totale Reflexion in den Fällen, wo der Lichtsstrahl aus einem dichteren Mittel nicht hervordringen kann [3]; aber die Reflexion an der Vorderfläche eines dichteren Körpers bedarf einer eigenen Erklärung. Bleiben wir zuerst dabei stehen, daſs die Körper auch eine *abstoſsende* Kraft auf die Lichttheilchen ausüben, so erhellet sogleich, daſs der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich seyn muſs und daſs der Lichtstrahl sich nach der Reflexion eben so schnell, als vor der Zurückwerfung, bewegt; denn da die abstoſsenden Kräfte dem reflectirten Strahle ohne Zweifel alle die Geschwindigkeit auf die zurückwerfende Ebene senkrecht genau so wieder ertheilen, wie sie dem einfallenden Strahle dieselbe raubten, so ist die Bahn des Strahles gegen das Einfallsloth nothwendig symmetrisch. Aber schwieriger ist die Frage, wie wir uns diese Einwirkung der abstoſsenden Kräfte

---

1 Der Globe 1829. Tome VII. no. 90. berichtet, daſs ein franz. Gelehrter, Babinet, eine Erklärung nach eigenthüml. theoret. Ansichten gegeben habe.

2 Eine anders abgeleitete, aber eben so auffallend groſse Bestimmung giebt Laplace in seiner Theorie der Haarröhrchen, im Anhange zur Mécanique céleste und G. XXXIII. 385., und Herschel on Light §. 561. verfolgt diese Betrachtung noch weiter.

3 S. Art. *Brechung*. S. 1157.

neben der Einwirkung der anziehenden Kräfte denken sollen, und diese Frage will ich hier nach HERSCHEL's Anleitung beantworten. Wir können uns, sagt dieser, vorstellen, dafs an den Grenzen eines brechenden Mittels eine Reihe blättchenförmiger Räume oder Schichten vorhanden sind, in welchen abwechselnd anziehende und abstofsende Kräfte vorwalten; ihrer können mehrere einander umschliefsend vorhanden seyn, und da sie in einem unmefsbar engen Raume vorhanden sind, so machen sie das aus, was wir die Oberfläche selbst nennen. Tritt nun ein Lichttheilchen zuerst in eine anziehende Schicht, so wendet hier der gekrümmte Weg desselben seine concave Seite der Oberfläche zu; folgt hierauf eine abstofsende, so erhält der Weg des Strahls einen Wendungspunct und kehrt dann der Oberfläche seine Convexität zu, und so geht es fort bei dem Wechsel verschiedener Schichten. Wenn nun bei dem Durchgange des Strahls durch die Oberfläche, ehe er so tief eingedrungen ist, dafs er im Innern des Körpers über die Wirkungssphäre dieser wechselnden Kräfte hinaus gelangt, die abstofsende Kraft seine ganze mit der Oberfläche parallele Geschwindigkeit zerstört, so wird sein Weg mit der Oberfläche parallel und dann abwärts von der Oberfläche gehend; da er aber genau alle dieselben Einwirkungen beim Rückgange von der Oberfläche noch einmal zu erleiden hat, so ist dieser zweite Theil seines Weges dem ersten genau symmetrisch, und daher, ungeachtet aller Wechsel der auf ihn einwirkenden Kräfte, der reflectirte Strahl zuletzt eben so geneigt gegen die Oberfläche, wie der einfallende. Sind die abstofsenden Kräfte nicht mächtig genug, dieses zu bewirken, so dringt das Lichttheilchen in das Medium ein und setzt seinen Weg gebrochen, aber geradlinig fort. Diese Betrachtung wäre ausreichend, wenn in demselben Puncte der Oberfläche alle Theilchen zurückgeworfen oder dagegen alle Theilchen durchgelassen würden; aber die Erfahrung zeigt, dafs bei durchsichtigen Körpern, wenn der Strahl eine Aenderung seiner Geschwindigkeit leidet, einige Lichttheilchen zurückgeworfen werden, während andere eindringen, und dafs selbst bei spiegelnden undurchsichtigen Körpern einige Strahlen eindringen und verloren gehen. Um dieses zu erklären, nahm NEWTON die Anwandlungen leichterer Zurückwerfung und leichterer Durchlassung an, die man als einen theoretischen Ausdruck für das, was die Beobachtung zeigt, ansehen mufs. Die von der Sonne

und andern Körpern ausgesandten (unpolarisirten) Lichtstrahlen enthalten nämlich völlig gleiche Theilchen, die, sey es nun dadurch, dafs sie ungleiche Seiten haben und rotirend bald die eine, bald die andere in die Richtung ihres Weges bringen, oder sey es durch irgend eine andre Art von Wechsel, in einem Puncte ihrer Bahn der leichtern Zurückwerfung fähig sind, dagegen in einem zweiten um einen bestimmten Zwischenraum = a vom ersteren entfernten Puncte durchgelassen werden; ist ein und dasselbe Lichttheilchen von jenem ersten Puncte um 2a, 4a, 6a..... vorgerückt, so befindet es sich in der Anwandelung, die für die Reflexion am geeignetsten ist, dagegen ist für die durch a, 3a, 5a.... angegebenen Puncte der Zustand der Anwandelung am ungünstigsten für die Reflexion und in den zwischenliegenden Puncten seines Weges geht das Lichttheilchen eine Stufenfolge von Uebergängen von einem Zustande zum andern durch. So erhellt, was es heifst, das Theilchen befinde sich in einer bestimmten Phase seiner Anwandlungen, indem es diesen oder jenen Punct erreicht.

Die Theilchen also, die in der Wirkungssphäre der Oberfläche hinter einander in derselben Richtung ankommen, sind nicht alle gleich empfänglich für beide Kräfte, sondern diejenigen, welche sich in oder nahe bei der Phase der leichtesten Reflexibilität befinden, können zurückgeworfen werden, während die übrigen eindringen. Da die Reflexion erst dann eintritt, wenn die gesammte, gegen die Oberfläche senkrechte Geschwindigkeit des Lichttheilchens zerstört ist, so werden von dem senkrecht auffallenden Strahle nur diejenigen Theilchen reflectirt werden, die sich sehr nahe an der Phase der gröfsten Reflexibilität befinden; von schief auffallenden Strahlen, deren senkrechte Geschwindigkeit dem Sinus ihres Neigungswinkels gegen die Oberfläche proportional ist, werden desto mehrere reflectirt, je kleiner dieser Winkel wird, indem die viel geringere senkrechte Geschwindigkeit auch bei vielen derjenigen Lichttheilchen zerstört wird, die sehr bedeutend von der für die Reflexion vortheilhaftesten Phase entfernt sind, indem sie in die Wirkungssphäre jener Kräfte gelangen. Diese Folgerung stimmt genau mit der Erfahrung überein und ist einer von den Beweisen, dafs jener theoretische Ausdruck dem sehr gut entsprechend ist, was hier die Beobachtung zeigt. Bei der Reflexion an der Oberfläche, wo der Strahl in die Luft hervorgeht, gelten

ganz ähnliche Schlüsse. Wenn der Lichtstrahl aus einem Medio in ein anderes von sehr nahe gleicher Brechungskraft übergeht, so sehen wir den reflectirten Strahl fast ganz verschwinden, und wir müssen daher schliefsen, dafs die anziehenden und abstofsenden Kräfte bei verschiedenen Körpern einerlei Gesetz befolgen, wenigstens finden wir die abstofsenden Kräfte, vermöge dieses Phänomens, da gleich grofs, wo es die anziehenden sind, und es erfolgt daher weder theilweise Reflexion, noch Refraction des Strahles, wenn er einen Uebergang zu einem andern, mit gleicher Brechungskraft begabten Körper macht[1]. *)

---

1 Vergl. Art. *Brechung*. S. 1144.

*) Dafs diese Behauptung, die abstofsenden Kräfte sind gleich, wo es die anziehenden sind, oder an den Grenzen zweier Medien, die gleiche Brechung bewirken, findet gar keine Zurückwerfung statt, nicht strenge richtig sey, hat kürzlich Brewster durch Versuche gezeigt, deren Hauptinhalt ich hier einschalten mufs.

Brewster brachte zwischen zwei Prismen von fast genau gleicher Brechungskraft Flüssigkeiten, die bei gewisser Temperatur eben dieselbe Brechungskraft haben, und sah dennoch reflectirte Strahlen. Eine Beobachtung, die er bei dieser Gelegenheit machte, ist leicht zu erklären; nämlich wenn die Seite des Prisma's mit Cassia-Oel in Berührung gebracht ward, so waren die reflectirten Strahlen an der Trennungsfläche bläulich, und dieses offenbar deswegen, weil für die beiden einander berührenden Körper die Brechung der rothen Strahlen gleich, der stärker brechbaren Strahlen aber ungleich ist, und daher jene, der oben angeführten Regel gemäfs, sich unter den reflectirten Strahlen nicht mit befinden.

Zu den Beobachtungen, die ein der obigen Regel nicht ganz entsprechendes Resultat geben, wandte Brewster Castoröl, dessen Brechungs-Index = 1,490 war, und Copaivabalsam (*balsam of capivi*), dessen Brechungs-Index = 1,528 war, an; für die beiden Prismen war das Brechungsverhältnifs durch 1,508 und 1,510 ausgedrückt. Die beiden rechtwinkligen Prismen wurden so, wie die Figur zeigt, auf einander gelegt und zwischen CH jene Flüssigkeit gebracht; indem nun der Lichtstrahl Rr nach o gebrochen und in o zum Theil, in p zum Theil zurückgeworfen ward, erhielt man zwei nach oqm und psn reflectirte Strahlen, die man durch eine geringe Neigung der Oberflächen CD, GH gegen einander noch mehr von einander trennen konnte. Der Balsam hatte bei 28° R. (94° Fahrenh.) genau denselben Brechungs-Index, wie das Glas, und es hätte also gar keine Zurückwerfung und Brechung an der Trennungsfläche statt finden sollen, aber dennoch zeigte sich immer ein reflectirter Strahl, der auch

Fig. 34.

Die Erfahrung zeigt, dafs selbst bei dem kleinsten, bis zu Null herabgehenden, Neigungswinkel des Strahles nie alle aus dem Vacuo kommende Lichttheilchen zurückgeworfen, sondern allemal einige bei durchsichtigen Körpern durchgelassen, bei undurchsichtigen Körpern absorbirt werden oder verloren gehen. Diese Erscheinung zeigt, dafs die anziehende Kraft schon in gröfserer Entfernung einwirkt, da sonst der ohne alle senkrechte Geschwindigkeit antreffende Strahl gewifs reflectirt würde, ehe er die Anziehungsschicht erreichte. So klein nun auch diese Entfernungen sind, so müssen sie doch die Durchmesser der einzelnen Körpertheilchen sehr übertreffen, und daher ist es möglich, dafs die Reflexion und Refraction bei polirten Oberflächen regelmäfsig werden, obgleich bekanntlich bei aller Politur doch noch keine absolute Vollkommenheit der Oberfläche erreicht wird; denn die Grenzen der Attractions- und Repulsionssphären bilden eine genauer regelmäfsige Oberfläche, als die Theilchen der festen Oberfläche selbst. Dafs dieses statt finden mufs, wenn die Radien der Reflexionssphären merklich gröfser sind, als die Abstände zwischen den an der Oberfläche neben einander liegenden Theilchen, zeigt die Figur, worin a, b, c und α, β die Theilchen des Körpers, de, fg, hi, die Grenzen der jedem einzelnen Theilchen zugehörenden Reflexionssphären vorstellen. Fig. 35.

---

nicht einmal sich dem Verschwinden näherte, als die Brechungskraft beider Medien der Gleichheit nahe kam. Brewster schliefst daraus, dafs das Gesetz, nach welchem beide Kräfte, die anziehende und die abstofsende, sich ändern, verschieden seyn müsse. Fangen zum Beispiel, was freilich anderen beobachteten Erscheinungen nicht angemessen scheint, die Reflexionskräfte in einer gröfseren Entfernung, als die Refractionskräfte an, wirksam zu seyn, so können die zurückstofsenden Kräfte ein Uebergewicht behalten und also die der Zurückwerfung am meisten empfänglichen Theilchen wirklich zurückgeworfen werden. In diesem und in ähnlichen Fällen könnte also für einige Lichttheilchen eine Zurückwerfung statt finden, wenn gleich die in das andre Medium eindringenden Theilchen, nachdem sie die Trennungsschichten, in welchen diese Kräfte wirksam sind, ganz durchlaufen haben, in eben der Richtung fortgehen, in welcher sie eingetreten sind.

Bei diesen Versuchen kommen unter gewissen Umständen Farbenerscheinungen vor, die nach Brewster's Vermuthung durch Interferenz entstehen. Edinburgh Journ. of Science. 1829. October. p. 24.

Wie die Ungleichheit in der Fähigkeit der Lichttheilchen, reflectirt und durchgelassen zu werden, die Farbenerscheinungen dünner Körper erklärt, ist schon im Art. *Anwandlungen* gezeigt worden; ich bemerke daher hier nur kurz Folgendes. Wenn die von der Sonne zu uns gelangenden Lichttheilchen sich gleich in allen möglichen Phasen der Anwandlungen befinden, indem sie die erste Oberfläche des dünnen Körpers erreichen, so dringen doch nur diejenigen ein, die sich von dem Zustande leichter Reflexibilität ziemlich entfernt befinden; ich will zuerst annehmen, nur die allein drängen ein, die sich genau in der Phase der leichtesten Durchlassung befinden. Ist nun a der Weg, den das Lichttheilchen durchläuft, während es von der Phase leichtester Durchlassung bis wieder zu eben der Phase gelangt, so erhellt, dass die zweite Oberfläche, wenn die Dicke des dünnen Körpers $= a$, $= 2a$, $= 3a$ ist, alle jene Lichttheilchen durchlassen wird, und dass ein Auge, welchem zurückgeworfene Strahlen sich zeigen würden, in diesem Falle gar kein Licht erhält oder an der Stelle, wo der dünne Körper genau diese Dicken hat, ein völliges Dunkel sieht, dass hingegen da, wo die Dicken $= \frac{1}{2}a$, $= \frac{3}{2}a$, $= \frac{5}{2}a$ sind, alle jene Lichttheilchen, die sich beim Eindringen in der Phase der leichtesten Durchlassung befanden, nun in der Phase der leichtesten Zurückwerfung sind, also zurückgeworfen werden, und dass sie, weil sie an der ersten Oberfläche zum zweiten Male in der Phase des leichtesten Durchgangs ankommen, durch diese durchgehen und dem Auge, das die reflectirten Strahlen empfängt, eine erleuchtete Stelle zeigen. Denken wir hier also zuerst nur an einfarbiges Licht und betrachten den Fall, wo ein convexes Glas auf einer Ebne liegt, so entstehen für das Auge, welches reflectirte Strahlen empfängt, da helle Ringe, wo die Dicke des Zwischenraumes $= \frac{1}{2}a$, $= \frac{3}{2}a$, $= \frac{5}{2}a$, $= \frac{7}{2}a$ u. s. w. ist, und zwischen ihnen liegen dunkle Ringe, den Dicken $= a$, $= 2a$ u. s. w. entsprechend. Aber nicht alle eindringende Lichtstrahlen sind genau in der Phase der leichtesten Durchlassung; daher, wenn der Lichtstrahl an der zweiten Oberfläche in der Entfernung $= a$ ankommt, befinden sie sich abermals nur in der Nähe dieser Phase, werden aber so gut wie bei der ersten Oberfläche durchgelassen, indem nur die der entgegengesetzten Phase allzunahe liegenden Theilchen der Reflexion unterworfen wären; im Gegentheil da, wo die Dicke $= \frac{1}{2}a$, $= \frac{3}{2}a$ ist, erreichen Theil-

chen, die in der vollkommensten Phase der Zurückwerfung sind, die zweite Oberfläche, und diese werden reflectirt, aber auch andre, die dieser Phase nicht so ganz nahe sind, kommen hier an, und unter diesen werden diejenigen, die sich zu entfernt von der Phase leichter Reflexion befinden, durchgelassen; indeſs entstehen die durch Reflexion gesehenen Ringe dennoch, nur geben sie nicht *alle* Strahlen zurück, sondern die Ringe, die man an der andern Seite vermöge der durchgelassenen Strahlen sieht, sind an diesen Stellen nicht ganz dunkel. Die Länge $= a$, welche einem ganzen Wechsel der Anwandlungen entspricht, ist nicht bei allen Farbestrahlen gleich, sondern bei den violetten Strahlen ist sie nur etwa $\frac{2}{3}$ dessen, was sie bei den rothen Strahlen ist; daher sieht man nur bei reinem einfarbigen Lichte sehr zahlreiche Ringe, bei weiſsem Lichte hingegen vermischt sich zum Beispiel der dritte gelbe Ring mit dem vierten violetten und daher hört die Erscheinung auf, wenn die Dicke der Schicht eine gröſsere Zahl von Anwandlungen umfaſst. Aus diesem Grunde sind auch die Strahlen, welche bei dem Newton'schen Versuche durch das convexe Glas gegangen sind, anzusehen, als ob sie in allen möglichen Phasen der Anwandlungen die Oberfläche der dünnen Luftschicht erreichten, obgleich beim Eintritte in das Glas diejenigen ausgesondert und reflectirt waren, die sich dem Zustande der leichtesten Reflexion nahe befanden. Da ein Glas von $\frac{1}{10}$ Zoll Dicke über 6000 Perioden der violetten Strahlen umfaſst oder die violetten Strahlen in diesem Raume über 6000mal alle Zustände der leichten Zurückwerfung und leichten Durchlassung durchlaufen, so müſste das auffallende Licht im strengsten Sinne homogen seyn, wenn man nach diesen zahlreichen Perioden noch alle Lichttheilchen, die zu Anfang in nahe gleichen Phasen waren, auch in gleichen Phasen wiederfinden sollte, und da wir schon dasjenige Licht für sehr homogen halten würden, wo die Längen der Anwandlungen 16,0 und 16,2 Milliontel des Zolles betrügen, so erhellt, daſs selbst bei einem so wenig verschiedenen Lichte am Ende vieler Perioden Lichttheilchen in allen möglichen Phasen vorkommen würden [1].

---

1 Setze ich nämlich solche Lichtstrahlen als in genau gleichen Phasen der Anwandlungen eintretend voraus, so sind sie schon am Ende der ersten 16 Milliontel Zoll um $\frac{1}{80}$ Phase verschieden und am Ende der ersten 1280 Milliontel um eine ganze Anwandlung ver-

Aber obgleich bei dem einfachen Durchgange des Lichts durch dicke Platten die mannigfaltigsten Zustände der Anwandlungen eintreten und daher keine Farbenringe entstehen, so gehen diese doch wieder hervor bei der Reflexion an der Rückseite dicker Platten. NEWTON beobachtete diese sichtbar werdenden Farbenringe, indem er auf einen concav-convexen Glasspiegel, dessen beide Oberflächen einerlei Centrum hatten, Sonnenstrahlen durch eine in eben dem Centrum der Kugelflächen angebrachte kleine Oeffnung fallen liefs, indem sich nun um diese Oeffnung Farbenringe zeigten. Ihr Entstehen wird erklärlich aus den Lichtstrahlen, die an der Rückseite des Spiegels, seiner Rauhheiten wegen, zerstreut zurückgeworfen werden. Der senkrecht einfallende Lichtstrahl CA wird, so fern er der regelmäfsigen Reflexion folgt, in seiner vorigen Richtung zurückgeworfen; aber wie gut auch die Oberfläche bei B polirt seyn mag, so wirft sie doch immer, so wie rauhe Körper, auch zerstreute Strahlen zurück, unter welchen wir hier blofs diejenigen zu betrachten brauchen, die nur einen kleinen Winkel mit CB machen. Alle diese Strahlen müssen sich bei ihrem Ausgehen von B ziemlich nahe in der Phase der leichtesten Zurückwerfung befunden haben, weil sie sonst ihren Weg durch diese Oberfläche hindurch fortgesetzt hätten. Die Theilchen, die an der Hinterfläche im Zustande der leichtesten Reflexibilität ankamen, sind von der Vorderfläche durchgelassen worden, und da sie, beim Rückgange auf der Linie BC selbst, diese Vorderfläche ziemlich in eben der Phase der Anwandlungen erreichen, wie beim Eindringen, so gehen sie nach C zu fort. (Sie befänden sich strenge genau in eben der Phase, wenn sie nur in der vollkommensten Phase der Reflexion an der Hinterseite zuzückgeworfen würden.) In A selbst gehen also alle reflectirten Strahlen, die dort ankommen, hervor; aber unter den unregelmäfsig reflectirten Strahlen werden auch solche seyn, die nach BD, BE zurückgeworfen werden. Bei der schiefen Reflexion werden die Anwandlungen länger [1], und obgleich auch die

Fig. 36.

---

schieden. Waren sie also so gemischt, dafs einige die Länge der Anwandlungen = 16,0, andre = 16,1, andre = 16,2 haben, so sind, nachdem sie etwa 13 Zehntausendtel tief eingedrungen sind, die ersten und letzten am Ende, die zweiten in der Mitte einer Phase u. s. w.

1 S. Art. *Anwandlung.*

Wege BD, BE länger als BA sind, so hat doch jene Aenderung das Uebergewicht und es giebt daher eine Stelle D, wo die Zahl der Anwandlungsperioden um eine halbe vermindert ist, wo also die ankommenden Strahlen, weil sie sich in der Phase der leichtesten Reflexion befinden, nicht hervorgehen; es giebt eine andere Stelle E, wo die Anzahl der Perioden um eine ganze vermindert ist und wo also die reflectirten Strahlen wieder vollkommen gut hervorgehen, und so treten die Wechsel wiederholt ein. Diese Strahlen, die, wenn sie alle gleichmäſsig hervorgingen, den Schirm eC, in welchem die Oeffnung C ist, gleichmäſsig erleuchten würden, lassen also in d einen unerleuchteten Raum, in e findet Erleuchtung statt, und so ferner, und da dieses rund um C sich eben so verhält, so sieht man, wie NEWTON es beobachtete, auf dem Schirme helle Ringe. Ist das Licht nicht einfarbig, so muſs man auf die ungleiche Länge der Anwandlungen der verschiedenen Farbenstrahlen Rücksicht nehmen, und es ist offenbar, daſs die kürzeren Anwandlungsperioden der violetten Strahlen zuerst eine ganze Periode verloren haben müssen, daſs also die violetten Ringe, wenn sie allein da wären, die kleinsten seyn würden, und es läſst sich daraus leicht schlieſsen, daſs die hellen Ringe an ihrer innern Seite violett, an der äuſsern roth seyn müssen. Diese Ringe erscheinen nicht bei ebnen Platten, weil es unmöglich ist, einen so vollkommen auf einen einzigen Punct B begrenzten Lichtstrahl einzulassen, die neben einander einfallenden Strahlen aber ihre Wirkung gegenseitig zerstören, wenn die Platte von Ebenen begrenzt ist, statt daſs sie bei einem sphärischen Spiegel zur Verstärkung der Ringe beitragen, wenn der Schirm genau im Mittelpunkte der Kugel aufgestellt ist [1].

Wie sich an die Theorie der Farben dünner Blättchen die Erklärung der natürlichen Farben der Körper anschlieſst, habe ich schon oben angedeutet. Alle Körper nämlich müssen doch aus feinen Theilchen mit dazwischen befindlichen Räumen bestehen, und indem diese feinen Theilchen an ihrer zweiten Oberfläche nur diejenigen Farbenstrahlen reflectiren, die sich in den Phasen leichterer Reflexion befinden, diese aber bei gleicher Gröſse der Theilchen alle von einerlei Farbe sind, so zeigt

---

1 BIOT Traité IV. 169. zeigt dieſs umständlicher und betrachtet noch viele einzelne Fälle.

sich uns der Körper in dieser, der Gröfse und Brechungskraft seiner materiellen Theilchen angemessenen Farbe. Diese kann selbst eine gemischte seyn, wenn, wie es auch in den entfernteren Farbenringen der Fall ist, verschiedene Farbenstrahlen nach mehreren Anwandlungsperioden zusammentreffen, immer aber sind sie mit denjenigen Strahlen gemischt, die schon an der ersten Oberfläche der Theilchen zurückgeworfen werden, und aus diesem Grunde giebt der rothe Körper durch das Prisma gesehen allemal einen farbigen Rand, so wie auch aus eben dem Grunde der rothe Körper im grünen Lichtstrahle grün erscheint. Dafs eben dieses bei allen Farben gilt, versteht sich von selbst.

Auch die Beugung des Lichtes, obgleich sie sich besser nach der Vibrationstheorie erklären läfst, gestattet eine Erklärung nach Newton's Hypothese. Newton selbst hat dieses in der dritten Frage, am Schlusse seiner Optik, nur angedeutet; aber da es wichtig ist, jede der beiden Theorieen, die beide noch viel zu wünschen übrig lassen, so weit es möglich ist, auf alle Phänomene anzuwenden, so halte ich es nicht für überflüssig, auch hierbei einen Augenblick zu verweilen. Da wir es uns als möglich gedacht haben, dafs abwechselnde Einwirkungen abstofsender und anziehender Kräfte in der Oberfläche der Körper wirksam sind, so kann auch bei der Beugung des Lichtes, wo der Lichtstrahl unmittelbar an der Oberfläche eines Körpers vorbeigeht, ein Theil des Strahles in der ersten abstofsenden Schicht, ein anderer in der zweiten abstofsenden Schicht abwärts gelenkt werden, und eben so können andere Theile von den anziehenden Kräften in den Schatten hineinwärts gebeugt werden. Da auch dieses mit den Anwandlungen leichterer Zurückwerfung und leichterer Durchlassung zusammenhängen mufs, so möchte auch hier sich eine noch genauere Nachweisung, in welcher Ordnung die Strahlen diesen Wirkungen folgen, geben lassen; aber da mehrere der hier vorkommenden Erscheinungen ganz bestimmt von dem Zusammentreffen zweier Lichtstrahlen abhängen, die sich einander gleichsam auslöschen, so müfste hierüber zuerst Auskunft gegeben werden, und dazu scheint die Emissionstheorie, so weit wir sie jetzt übersehen, nicht geeignet. Auch ist bei der Inflexion des Lichtes der Umstand gegen die Emissionstheorie, dafs die eben erwähnten Kräfte sich hier ganz gleich bei den verschiedenar-

tigsten Körpern zeigen, denen wir doch sehr ungleiche Brechungskräfte beilegen.

Die Erscheinungen, welche aus der Interferenz der Lichtstrahlen hervorgehen, habe ich vorhin, bei der Aufzählung der verschiedenen Erscheinungen, so angedeutet, dafs sie in gewissen Fällen uns ein durch Zusammentreffen zweier Lichtstrahlen geschwächtes Licht zeigen. Gehen nämlich von einer Lichtquelle zwei Strahlen aus, die durch Zurückwerfung, Brechung oder Beugung auf verschiedenen Wegen in sehr nahe übereinstimmenden Richtungen zu einem bestimmten Puncte gelangen, so hängt es von der Länge der Wege ab, ob diese beiden Strahlen sich verstärken oder auslöschen sollen. Um in Newton's Ausdrücken zu reden, müfsten wir sagen, dafs beide Strahlen einander am meisten verstärken, wenn die Differenz der Wege eine gerade Zahl genau ganzer Perioden der Anwandlungen beträgt, und dafs sie einander genau auslöschen, wenn diese Differenz einer ungeraden Zahl genau ganzer Perioden der Anwandlungen entspricht. Wollte man also dieses gegenseitige Zerstören nach Newton's Theorie erklären, so müfste man den Lichttheilchen die durch sonst nichts begründete Eigenschaft beilegen, dafs zwei an demselben Puncte und fast genau nach einerlei Richtung ankommende Lichttheilchen ihre erleuchtende Wirkung völlig zerstören, wenn jene Differenz der Wege statt findet.

Von dem, was die Anwendung der Newton'schen Theorie auf die Erscheinungen der Polarisation des Lichtes darbietet, will ich nur einige Hauptmomente nach Biot's Darstellung[1] mittheilen, obgleich diese Darstellung in Fresnel einen sehr bedeutenden Gegner gefunden hat. Da bei der Zurückwerfung von einem unbelegten Glase unter dem Polarisationswinkel von ungefähr 35° der Strahl unfähig geworden ist, von dem andern, unter gleichem Winkel gegen ihn geneigten Spiegel zurückgeworfen zu werden, wenn die Reflexions-Ebenen auf einander senkrecht sind, so mufs man schliefsen, dafs die verschiedenen Seiten der Lichttheilchen ungleiche Eigenschaften besitzen und dafs die erste Reflexion diejenigen Façen der Lichttheilchen, welche mit der zur Zurückwerfung nöthigen Eigenschaft begabt sind, nach einer Seite

1 Traité IV. 260. 275.

im Raume gewandt habe. Diese Vorstellung einer Drehung hat zu dem Namen Polarisirung Anlafs gegeben. Die oben schon kurz erwähnten Erscheinungen zeigen, dafs die durch einen doppelt brechenden Krystall gegangenen Strahlen ganz ähnliche Modificationen erlitten haben, wie bei der Zurückwerfung unter dem Polarisationswinkel. Die Uebereinstimmung der Modificationen ist so vollkommen, dafs ein aus dem Doppelspath hervorkommender gewöhnlich gebrochener Strahl, der unter dem Winkel von 35° auf einen unbelegten Glasspiegel fällt, gar nicht zurückgeworfen wird, wenn die Reflexions-Ebene senkrecht gegen die Haupt-Ebene des Krystalls ist[1], dafs der ungewöhnlich gebrochene Strahl gar nicht zurückgeworfen wird, wenn die Haupt-Ebene des Krystalls mit der Reflexions-Ebene parallel ist, und dafs in jeder Rücksicht der unter dem Polarisationswinkel zurückgeworfene Strahl sich genau so verhält, wie der gewöhnlich gebrochene Strahl in einem Krystall, dessen Haupt-Ebene der Reflexions-Ebene parallel ist, oder wie der ungewöhnlich gebrochene Strahl in einem Krystall, dessen Haupt-Ebene senkrecht auf die Reflexions-Ebene ist. Um blofs den Fall, wo die Reflexion völlig aufhört, genügend zu erklären, würde es zureichen anzunehmen, dafs alle Lichttheilchen einerlei Stellung bei der Polarisation annehmen. Hat nämlich eine bestimmte Façe des Lichttheilchens die Eigenschaft, dafs die von der Mitte des Theilchens gegen sie gezogene Axe sich nach der Zurückwerfung in der Reflexions-Ebene befindet, so erfolgt keine Reflexion an der zweiten Spiegelfläche, wenn alle bei ihr ankommende Theilchen jene Axen in einer gegen die Reflexions-Ebene senkrechten Ebene haben; deswegen nämlich, weil die Kraft, die ihnen die zur Reflexion erforderliche richtige Stellung geben sollte, auf beide Enden der Axe gleich einwirkt und eben darum ihre Stellung nicht ändern kann. Aber wenn wir so alle jene Axen der Theilchen als in der ersten Reflexions-Ebene (nach der ersten Zurückwerfung unter dem richtigen Polarisationswinkel) liegend ansehen, so müfsten alle gleich fähig seyn, in dem Falle, wenn die zweite Reflexions-Ebene nicht senkrecht auf die erste ist, der Zurückwerfung Folge zu leisten

1 Diese Haupt-Ebene ist diejenige, welche durch die (Art. *Brechung* S. 1166.) angegebene Axe senkrecht auf eine Seitenfläche gesetzt ist.



oder nicht; da dieses sich nicht so findet, sondern die Stärke des aus der zweiten Reflexion hervorgehenden Strahles (immer ein Auffallen unter 35° vorausgesetzt) dem Quadrate des Cosinus des Winkels proportional ist, den die beiden Reflexions-Ebenen mit einander machen, so müssen wir jene bestimmte Stellung der Axe, auf welche es ankommt, dahin beschränken, daſs das Theilchen Freiheit behalte, um sie zu oscilliren, so wie es die Einwirkung der materiellen Theile fordert, in deren Nähe das Lichttheilchen ankommt. Hängen nun die Anwandlungen der Lichttheilchen von entgegengesetzten Polen ab, so gestatten diese Bewegungen ihnen, sich abwechselnd den zurückwerfenden Flächen darzubieten, und die Lichttheilchen befinden sich demnach in verschiedenen Zuständen, wodurch sie mehr oder minder fähig werden, der Zurückwerfung zu folgen. Man müſste sich also vorstellen, daſs, während im polarisirten Lichtstrahle jene Axen an die bestimmte Ebne gebunden wären, sie doch in dieser Ebene ungleiche Stellungen, den Wechseln der Anwandlungen gemäſs, erhielten und folglich für eine genau auf die vorige senkrechte Ebene keine Fähigkeit für die Reflexion besäſsen, bei einiger Neigung der zweiten Reflexions-Ebene aber sich zwar alle in einem Zustande schwacher, zugleich aber ungleicher Reflexibilität befänden, so daſs nur diejenigen ihr folgten, die in der Periode ihrer Accesse in den Phasen hinreichend leichter Reflexibilität wären, und deshalb sogar, wenn die zweite Reflexions-Ebene mit der ersten zusammenfiele, nicht absolut alle Theilchen der Zurückwerfung Folge zu leisten brauchten. Uebrigens besteht für jede unter dem genauen Polarisationswinkel erfolgende Reflexion die Regel, daſs die zurückgeworfenen Theilchen der neuen Reflexions-Ebene gemäſs polarisirt sind, also, um in unserer Vorstellungsart zu reden, ihre die Zurückwerfung bedingenden Axen in der Ebene der letzten Reflexion haben. Dieses alles findet aber strenge genommen nur statt, wenn der Neigungswinkel des Strahles gegen die Ebene der spiegelnden Fläche dem Polarisationswinkel genau gleich ist; bei einem andern Winkel werden, selbst wenn die Reflexions-Ebene senkrecht auf die erste ist, von den polarisirten Lichttheilchen einige zurückgeworfen, sie behalten aber die bei der ersten Reflexion erlangte Polarisation oder ihre Axen bleiben in der der ersten Reflexions-Ebene parallelen Lage. Sie werden also nun zurückgeworfen, weil der Winkel nicht

mehr jener für die Durchlassung der Strahlen vortheilhafteste ist, aber die wirkenden Kräfte haben keine Gewalt zur Aenderung jener Axen, weil sie noch immer auf beide Enden der Axen gleichmäſsig wirken.

Warum nur bei dem bestimmten Polarisationswinkel jene vollständige Polarisirung, jene genaue Uebereinstimmung der Lage der Axe mit der Reflexions-Ebene eintritt, läſst sich aus der merkwürdigen Eigenheit des Polarisationswinkels, daſs er derjenige ist, wo der durchgehende und der zurückgeworfene Strahl auf einander senkrecht sind, noch weiter nachweisen; aber ich trage Bedenken, auf alle diese Umstände hier einzugehen [1].

Wie man sich die Stellung der Lichttheilchen nach dem Eintritte in einen doppelt brechenden Krystall denken soll, läſst sich nun auch leicht nachweisen. Diejenigen Lichttheilchen, welche der gewöhnlichen Brechung Folge geleistet haben, müssen sämmtlich jene Axen in einer Ebene, welche der Haupt-Ebene des Krystalls (ich beziehe mich hier immer nur auf einaxige Krystalle und als Beispiel auf den Doppelspath) parallel ist, haben; diejenigen aber, welche der ungewöhnlichen Brechung gefolgt sind, haben alle ihre Axen senkrecht gegen diese Ebene. Die polarisirenden Kräfte des Krystalls müssen also die Wirkung äuſsern, den Theilchen zugleich diese Stellungen zu ertheilen. Ein schon polarisirter Strahl zerspaltet sich daher nicht mehr in zwei Strahlen, wenn die Axen der Lichttheilchen schon die eine oder die andere Stellung in Beziehung auf die Haupt-Ebene des Krystalls haben. Liegen sie schon der Haupt-Ebene parallel, so bleiben sie in dieser Lage, und da an diese Lage die Eigenschaft, gewöhnlich gebrochen zu werden, geknüpft ist, so folgen sie alle der gewöhnlichen Brechung; und eben so, wenn alle Axen senkrecht gegen diese Ebene sind, so kann diejenige Kraft, welche sie zur parallelen Stellung bringen sollte, als gleichwirkend auf beide Enden, dieses nicht bewirken, sondern dieser Strahl geht ungetheilt und ungewöhnlich gebrochen durch. Haben dagegen die Lichttheilchen eine schiefe Lage, so tritt aus eben den Gründen, die vorhin bei der Zurückwerfung erwähnt worden sind, eine Einwirkung jener Kraft ein, aber immer nur auf die Theilchen, die nach Maſsgabe ihrer An-

1 Vergl. Art. *Polarisation*.

wandlungen mehr oder minder dazu geschickt sind. Hieraus erhellt auch, warum die durch Reflexion polarisirten Lichtstrahlen sich zum Theil als depolarisirt zeigen, wenn sie durch einen doppelt brechenden Körper nach ihrer ersten Zurückwerfung und, ehe sie den zweiten Spiegel erreichen, durchgehen; indem nämlich die Haupt-Ebene des Krystalls weder parallel mit der ersten Reflexions-Ebene, noch senkrecht gegen dieselbe gestellt wird, gehen einige Lichttheilchen von derjenigen Stellung ab, welche sie unfähig machte, vom zweiten Spiegel zurückgeworfen zu werden, und der den zweiten Spiegel treffende Strahl wird also theilweise reflectirt.

So zeigen sich die Erscheinungen, wenn der polarisirte Strahl durch eine erhebliche Dicke des doppelt brechenden Krystalles geht, dagegen aber zeigen sich andere, mit den Perioden der Anwandlungen in der auffallendsten Beziehung stehende Erscheinungen, wenn man den Lichtstrahl nur durch sehr dünne Blättchen eines doppelt brechenden Krystalles gehen läfst. Da hierzu der blätterige Gyps, der sich in äufserst dünne Blättchen zerspalten läfst, vorzüglich brauchbar ist, so will ich diesen als Beispiel nehmen und die Erscheinungen, welche er zeigt, zugleich mit der Erklärung, wie die Bewegung der Lichttheilchen sie gestattet, angeben.

Diese Blättchen haben diejenige Axe, nach deren Lage sich die Lage der Lichttheilchen richtet, in der Ebene der Blättchen selbst, und was ich bisher immer die Haupt-Ebene des Krystalls genannt habe, ist hier eine durch diese Axe gehende, auf die Ebene des Blättchens senkrechte Ebene. Geht ein durch Zurückwerfung von dem ersten Spiegel polarisirter Strahl durch ein solches Blättchen und läfst man ihn so unmittelbar das Auge erreichen, so sieht man das Bild der Wolken oder eines andern weifsen Lichtes weifs, ohne irgend eine Veränderung zu bemerken; läfst man aber eben den durch das Gypsblättchen gegangenen Strahl unter dem Polarisationswinkel auf einen zweiten unbelegten Glasspiegel fallen, dessen Reflexions-Ebene senkrecht gegen die Reflexions-Ebene des ersten Spiegels ist, so sieht man in diesem Spiegel ein gefärbtes Bild jenes Gegenstandes. Bleiben beide Spiegel in ihrer Stellung, während man das Blättchen so dreht, dafs es noch immer den Strahl senkrecht empfängt, aber seine Axe bald in der ersten Reflexions-Ebene, bald dagegen geneigt hat, so sieht man diese Farbe lebhafter

oder matter werden; sie verschwindet, wenn die Axe des Krystalls entweder mit der ersten Reflexions-Ebene zusammenfällt, oder gegen sie senkrecht ist, und dagegen tritt die Färbung in den mittleren Stellungen am lebhaftesten hervor. Alle Versuche stimmen dahin überein, daſs diese dünne Platte nur gewisse Farbenstrahlen depolarisirt, wenn die Axe gegen die erste Reflexions-Ebene geneigt ist, und diese Farbenstrahlen sind daher fähig geworden, aus dem zweiten Spiegel, obgleich er seine Reflexions-Ebene senkrecht gegen die erste hat und die Lichtstrahlen unter dem richtigen Polarisationswinkel auffängt, zurückgeworfen zu werden. Ist nun die Axe des Blättchens in der ersten Reflexions-Ebene selbst, so depolarisirt sie die Strahlen nicht, da die Theilchen diejenige Lage gegen die Axe schon haben, die ihnen die Kraft des Krystalls zu ertheilen strebt; die sämmtlichen Strahlen bleiben daher in ihrem Zustande der Polarisation und werden nicht zurückgeworfen. Weicht die Axe um einen geringen Winkel von jener Ebene ab, so wird ein geringer Theil der Lichttheilchen, und zwar nur von bestimmter Farbe, fähig reflectirt zu werden, der aus dem zweiten Spiegel hervorgehende Strahl hat also diese Farbe, erscheint aber noch in geringer Intensität. Wird der Winkel der Axe mit der ersten Reflexions-Ebene gröſser, so nimmt die Menge der am zweiten Spiegel zurückgeworfenen Theilchen zu, bis der Winkel 45 Grade wird, nachher nimmt die Intensität des reflectirten Strahls wieder ab. Untersucht man die Richtung, in welcher dieser Strahl polarisirt ist, so findet man die Richtung seiner Polarisation allemal um den doppelten Winkel, den die Axe mit der ersten Reflexions-Ebene macht, von dieser entfernt, und hierauf beruht es, daſs dieser farbige Strahl vollkommen gut zurückgeworfen wird, wenn der Winkel der Axe mit der ersten Reflexions-Ebene 45° ist, indem er dann eine Polarisirung genau der zweiten Reflexions-Ebene entsprechend erlangt hat.

Ich habe bisher die Stellung des zweiten Spiegels immer so angenommen, daſs seine Reflexions-Ebene senkrecht auf die Reflexions-Ebene des ersten sey; jetzt wollen wir den zweiten Spiegel uns so gedreht denken, daſs seine Reflexions-Ebene mit der des ersten Spiegels zusammenfällt und der durch das Blättchen gegangene Strahl den Spiegel erreicht. Auch hier zeigt sich eine Färbung des weiſsen Gegenstandes, aber diese ist die genaue Complementärfarbe zu der vorigen; war jene ein gelbli-

ches Grün, so ist diese ein schönes Violett, und so in allen Fällen. Diese Farbe geht in Weifs über, wenn die Axe des Blättchens 0° oder 90° von der Ebene beider Reflexionen entfernt ist; denn da in beiden Lagen der Einflufs des Blättchens die Axe der Lichttheilchen entweder in der zur Reflexions-Ebene parallelen Lage läfst, oder sie in diese Lage wieder zurückführt, so werden nun die Lichttheilchen ohne Unterschied der Farbe reflectirt, so wie sie vorhin alle ohne Unterschied sich der Reflexion entzogen. Weicht die Axe des Blättchens von dieser Lage ab, so sind es nur diejenigen Farbe gebenden Lichttheilchen, die der neuen, durch die Axe hervorgebrachten, Polarisation nicht folgen, welche jetzt reflectirt werden; waren also vorhin die gelbgrünen Strahlen der Reflexion fähig geworden, so zeigen sich jetzt die Ergänzungsstrahlen, die violetten, als sichtbar, aber so lange der Winkel der Axe mit der Reflexions-Ebene klein bleibt, ist das Bild des Gegenstandes noch beinahe weifs, weil ihm nur die geringe Menge der bei so kleinen Winkeln ausgeschiedenen Strahlen fehlen, und so wie in dem früher betrachteten Falle das farbige (grüne) Bild matt, von geringer Intensität, erschien, so erscheint das jetzige Bild weifs und nur gerade so viel gefärbt (violett), als die ihm entzogenen Farbestrahlen es fordern.

Welche Farbe hier entstehe, habe ich noch immer unbestimmt gelassen und nur Grün und Violett als Beispiel angeführt; es tritt hier aber die merkwürdige Erscheinung ein, dafs die Farbe genau mit der Dicke des Blättchens zusammenhängt. Wenn man die Dicke eines Blättchens mit vollkommener Genauigkeit gemessen und die Farbe bestimmt hat, die es im zweiten Spiegel, wenn seine Reflexions-Ebene senkrecht auf die des ersten ist, zeigt, so findet man für jede andere Dicke der gleichartigen Blättchen diejenige Farbe, die nach Proportionalität der Dicke den Angaben der Newton'schen Zahlen für die Farben, welche vermöge der Anwandlungen entstehen, entsprechen. Zum Beispiel Newton setzt die Dicke einer Luftschicht, die das zweite Blau in den Farbenringen zeigt, = 14 Milliontel des Zolls[1], und bei Biot's Versuchen hatte ein Blättchen Gyps eine Dicke = 36,5 Theile im Mafse des Sphärometers, als es eben die Farbe zeigte; ein zweites Blättchen in Biot's Versuchen

---

1 Bd. I. S. 312. Art. *Anwandlung*.

$= 55{,}5$ dick entspräche also in jener Newton'schen Tafel der Zahl $= \frac{14}{36{,}5} \cdot 55{,}5 = 21{,}3$, das ist dem Indigblau des dritten Ringes, gemischt mit etwas Roth des zweiten Ringes, und genau diesem gemäſs erschien hier in Biot's Versuchen ein schönes Purpur[1].

Die Lichttheilchen nahmen also die von dem Blättchen Gyps hervorgebrachten Depolarisationen genau den Anwandlungen entsprechend an und es lassen sich daher folgende Regeln festsetzen. Wenn ein einfarbiger Lichtstrahl (denn beim Weiſs entstehen Mischungen wegen der ungleichen Länge der Anwandlungen), welcher polarisirt ist, senkrecht auf jenes Gypsblättchen fällt, so dringen die Lichttheilchen bis auf eine sehr geringe Tiefe ein, ohne ihre Polarisation zu verlieren; dann aber gerathen sie in Oscillationen, welche sie von ihrer erlangten Polarisationsstellung bis ebenso weit jenseit der Axe des Krystalls führen, als ihre Stellung vorher diesseits lag, oder wobei die Axen der Lichttheilchen bis zu dem Winkel $= 2 . i$ von der ersten Polarisations-Ebene abweichen, wenn die Axe des Krystalls den Winkel $= i$ mit dieser Ebene macht. Diese Oscillationen werden in jeder Dicke $= 2e$ einmal vollendet, so daſs das farbige Lichttheilchen der anfänglichen Polarisation entzogen wird, wenn es die Dicke $= e$ oder $= 3e$ oder $= 5e$ durchlaufen hat, und sich wieder im Zustande der anfänglichen Polarisation befindet, wenn diese Dicke $= 2e$ oder $= 4e$ oder $= 6e$ ist und so ferner. Diese Dicke $= e$ hat bei einerlei Natur der Krystalle für jeden Farbestrahl einen andern Werth, und zwar genau so, daſs diese Werthe den Längen der Anwandlungen gemäſs sind, die Newton aus seinen Versuchen bestimmt hat. Diese Oscillationen hören auf, wenn das Lichttheilchen wieder in die Luft hervorgeht, und wir finden daher den durch das Blättchen gegangenen Lichtstrahl jedesmal der Dicke des Blättchens gemäſs polarisirt, und wenn der Strahl aus gemischtem weiſsen Lichte bestand, so enthält er nach dem Durchgange alle die Theilchen, die nach Maſsgabe der für jeden Farbestrahl anderen Werthe von e der Dicke des Blättchens entsprechen.

Ich breche diese Entwickelung hier ab, da ich im Art.

---

1 Biot Traité IV. 350. 391.

Polarisation des Lichtes darauf zurückkommen mufs; hier aber glaubte ich einige der wichtigsten Angaben mittheilen zu müssen, damit erhelle, in welche bequeme Uebersicht sich, wenn gleich mit Hülfe einer künstlichen und manchen bedeutenden Einwürfen ausgesetzten Voraussetzung über die Bewegung der Lichttheilchen, sich wenigstens die hier angeführten Phänomene der Polarisation bringen lassen.

Diese Darstellung alles dessen, was die Emissionstheorie zur Erklärung der optischen Phänomene angiebt, zeigt allerdings, dafs sie, die Erscheinungen der Interferenzen ausgenommen, alle Erscheinungen in einen klar zu übersehenden Zusammenhang bringt. Aber es läfst sich wohl nicht leugnen, dafs die Voraussetzungen, welche sie zu machen genöthigt ist, höchst mannigfaltig sind. Wir sollen uns Lichttheilchen von einer fast unendlich zu nennenden Mannigfaltigkeit denken, die in Rücksicht der Anziehung, welcher sie beim Eintritte in ein neues Medium unterworfen sind, nach dem Gesetze der Stetigkeit einer andern Stärke der Brechung von dem schwächsten bis zum stärksten Grade unterworfen sind. Jede Art dieser Lichttheilchen besitzt die Eigenschaft, eine Reihe wechselnder Zustände durchzugehen, und die Zeiten eines vollendeten Wechsels sind ebenso nach dem Gesetze der Stetigkeit für alle verschieden, so dafs man sich geneigt finden könnte, den Grund der ungleichen Brechbarkeit eben in dem schnellern oder langsamern Wiederkehren gleicher Zustände, gleicher Phasen der Reflexibilität oder Refrangibilität zu suchen. Wir sollen ferner annehmen, dafs bei dem Eintritte in ein anderes Medium und bei der zugleich stattfindenden Reflexion einiger Lichttheilchen die Stellung der Lichttheilchen auf eine bestimmte Weise geändert wird, so dafs die Theilchen, vorzüglich bei der vollkommenen Polarisirung, statt der mannigfaltig verschiedenen Stellungen, die sie ursprünglich hatten, nun eine genau bestimmte, der fernern Reflexion unter gewissen Umständen günstige, unter gewissen Umständen ungünstige Stellung annehmen. Die Reflexion selbst soll durch abstofsende Kräfte, die zugleich jene Stellung hervorbringen müssen, bewirkt werden, und es scheint, dafs wir wohl genöthigt seyn können, einen Wechsel anziehender und abstofsender Kräfte in dem engen Raume, den wir als die Oberfläche unmittelbar umgebend ansehen, zuzugestehen, wobei wir ungewifs bleiben, ob wir diese Wechsel der ungleichen Lage

der Lichttheilchen, deren Pole allenfalls auf ungleiche Weise den wirkenden Kräften unterworfen seyn mögen, oder ob wir sie den die Körper gleichsam umgebenden Schichten zueignen sollen u. s. w. Dieses alles bildet ein aus vielen Bestandtheilen zusammengesetztes, noch keineswegs hinreichend fest verbundenes System, und es läſst sich leicht einsehn, daſs das System wohl noch einer bessern Begründung empfänglich wäre, wenn es gelänge, die offenbar mit einander verbundenen Umstände in eine strengere Beziehung zu den wirkenden Kräften zu setzen; ob dieses aber je ganz genügend geschehn kann, ist freilich zweifelhaft und scheint vorzüglich in den Beobachtungen der Interferenzen seine gröſste Schwierigkeit zu finden.

B. Die Undulationstheorie.

Die zweite Theorie, welche über das Entstehen der Phänomene des Lichts Auskunft giebt, ist die *Undulations*- oder *Vibrations-Theorie* [1], die zuerst von Huyghens mit Scharfsinn ausgeführt, dann von Euler vertheidigt worden ist. Sie war wegen der nicht geringen Schwierigkeiten, die auch ihr bei der Erklärung einiger und gerade der bekannteren Phänomene sich entgegenstellen, eine Zeit lang weniger beachtet worden; aber die Interferenzen des Lichts veranlaſsten zuerst Th. Young, die Aufmerksamkeit der Physiker wieder auf sie zu lenken, und Fresnel's, Fraunhofer's, Poisson's und Ampère's Untersuchungen haben ihr einen sehr groſsen Beifall erworben, obgleich die Schwierigkeiten, die sich immer noch finden, zu beweisen scheinen, daſs auch diese Theorie nicht die vollkommen richtige ist.

Die Bemerkung, daſs wir bei der Fortpflanzung des Schalles uns wohl veranlaſst finden könnten, eben so gut von Schallstrahlen zu reden und an Schalltheilchen, die unser Ohr treffen, zu denken, wie wir bei den Lichtphänomenen von Lichtstrahlen und Lichttheilchen reden, giebt allerdings eine sehr passende

1 Schon Hooke in der Micrographia hat eine solche Ansicht; des Cartesius Hypothese ist auch hiermit verwandt. Vorzüglich aber gaben Huyghens in dem traité de la lumière, Euler in den Briefen an eine deutsche Princessin und opuscula var. arg. und in der neuesten Zeit Thom. Young in Phil. Transact., in lectures on natural phil. und einzelnen Abh. in G. XXXIX. 156. über diese Theorie die ersten Aufschlüsse.

Veranlassung, um auch umgekehrt zu fragen, ob denn nicht die Fortpflanzung des Lichtes ebenso in den Vibrationen einer feinen Flüssigkeit ihren Grund haben sollte, wie bekanntlich bei der Fortpflanzung des Schalles in der Luft statt finden. Wenn man dieses annimmt, so muſs man also den unermeſslichen Raum, bis über die Grenze aller uns sichtbaren Gegenstände hinaus, mit einem sehr dünnen, sehr elastischen Fluidum, das man Aether genannt hat, erfüllt voraussetzen. Diese Voraussetzung scheint zwar das gegen sich zu haben, daſs die Himmelskörper bei ihrer Bewegung keinen merklichen Widerstand leiden; aber da die Dichtigkeit dieses Aethers sehr gering angenommen werden darf, so ist dieser Einwurf nicht von so groſser Wichtigkeit, zumal da doch auch die Emissionstheorie den ganzen Raum als gleichsam erfüllt mit Lichttheilchen, wenn auch die Zwischenräume in jedem Lichtstrahle sehr groſs sind, annimmt.

Dieser Aether muſs einen sehr hohen Grad von Elasticität besitzen und muſs fähig seyn, durch die Vibrationen der Körper, welche Licht auszusenden scheinen, in eine Bewegung gesetzt zu werden, die sich, den Wellen und den Schallvibrationen ähnlich, von Theilchen zu Theilchen fortpflanzt. Den Körpern, welche selbstleuchtend Licht aussenden, müssen wir also eine vibrirende Bewegung, deren Ursprung wir nicht kennen, beilegen, bei den erleuchteten Körpern müssen wir annehmen, daſs die sie treffenden Vibrationen des Aethers neue Vibrationen erregen, die sich uns in dem von ihnen zurückgeworfenen Lichte kenntlich machen. Aber auch in den dichtern Körpern selbst, wenn sie durchsichtig sind, müssen sich diese Wellenbewegungen fortpflanzen, und wir sind daher genöthigt anzunehmen, daſs die Zwischenräume der gröbern materiellen Theile mit diesem Aether erfüllt sind, und zwar so, daſs der in den brechenden Körpern enthaltene Aether eine desto geringere specifische Elasticität besitzt, je grösser die Brechung ist, welche das Licht in ihnen leidet. Indem diese Undulationen des Aethers unser Auge treffen und in unsern Sehnerven ähnliche Vibrationen erregen, ertheilen sie uns die Empfindung des Sehens, welche also hier aus einer mehr gleichartigen Bewegung des den äuſsern Eindruck machenden Stoffes und der Nerven selbst erklärt wird, statt daſs Newton den antreffenden Lichttheilchen die Wirkung, in dem Netzhäutchen des Auges und in den Nerven Vibrationen

zu erregen, welche sich zum Gehirn fortpflanzen, beizulegen geneigt ist[1]. Endlich ist es noch nothwendig, einen Unterschied der Vibrationen für jeden verschiedenen Farbenstrahl anzunehmen, daſs nämlich die Eigenthümlichkeit jeder Farbe ebenso auf der Anzahl der Aetherschwingungen in gegebener Zeit beruht, wie die Eigenthümlichkeit jedes höheren oder tieferen Tones in der Musik auf der Anzahl der Luftvibrationen in einer Secunde. So wie ein Ton stark oder schwach seyn kann, nach Maſsgabe der Stärke der Vibrationen, nach Maſsgabe der gröſseren oder geringeren Ausweichung der in Schwingung gesetzten Lufttheilchen, aber dennoch der Ton derselbe bleibt, wenn die Anzahl der Vibrationen in gleicher Zeit ungeändert ist, so kann auch eben die Farbe einen ungleichen Eindruck der Lebhaftigkeit bei stärkern Vibrationen machen, aber die Anzahl der Vibrationen des Aethers bestimmt die Art der Farbe. Wir sind also hier genöthigt, eine Mannigfaltigkeit von Lichtwellen anzunehmen, die fast in allen Abstufungen, von den am schnellsten auf einander folgenden im violetten Strahle bis zu den am seltensten auf einander folgenden im rothen Strahle, alle vorhanden seyn und im weiſsen Strahle alle vereinigt unser Auge treffen müssen. Die Lichtwellen, welche in uns die Empfindung des violetten Lichtes hervorbringen, sind die kürzesten, ihre Fortpflanzung ist aber eben so schnell, als die der rothen Lichtwellen, welche die längsten sind, so daſs die Undulationen, welche uns die Empfindung des Violett und Blau geben, ganz den höhern, die Undulationen, die wir als rothes und gelbes Licht darstellend angeben, den tiefern Tönen entsprechen.

Nach diesen Voraussetzungen wird es uns also nun erlaubt seyn, von Aetherwellen oder Lichtwellen, von einem verdichteten Theile und einem verdünnten Theile der Welle, von der Länge der Lichtwelle als dem Raume gleich, den das Licht in der Zeit einer Vibration durchläuft, zu reden und die fernern Schlüsse hieran zu knüpfen.

Da diese Undulationen sich von einem leuchtenden Puncte aus nach allen Seiten fortpflanzen, so müssen wir sie uns als Kugelschichten vorstellen und das, was ich eben die Länge einer Welle nannte, ist der Abstand der beiden Kugelschichten von einander, in welchen sich die gleichbewegten Theilchen

1 Opt. Quaest. 12.

einer Welle und der nächstfolgenden Welle in einerlei Augenblicke befinden. Diese Bewegungen der einzelnen Theilchen bestehen nur, wie bei der Fortpflanzung des Schalles, in einem höchst geringen Ausweichen jedes Theilchens aus seiner Lage, und indem das Theilchen vorrückend und zurückgehend um den Zustand des Gleichgewichts schwankt, durchläuft es die verschiedenen Zustände, die in gleichen Zwischenzeiten und oft wiederholt wiederkehrend auf unser Auge den Eindruck des Lichtes hervorbringen.

So lange die Lichtwellen sich in einem gleichförmigen Aether fortpflanzen, kommen sie in einer mit dem Radius dieser Schichten übereinstimmenden Richtung in jedem Puncte an und der Lichtstrahl zeigt sich uns als von dem leuchtenden Puncte nach geraden Richtungen ausgehend. Die Intensität des Lichtes wird offenbar von der Stärke der Erschütterung oder von der Geschwindigkeit der Theilchen abhängen, und da diese in den gröfsern Kugelschichten, weiter von dem Licht erregenden Puncte, geringer wird, so nimmt die Intensität des Lichtes ab. Nach dem Gesetze von der Erhaltung der lebendigen Kräfte ist die wahre Geschwindigkeit der bewegten Theilchen, die man nicht mit der Fortpflanzung des Lichtes von Theilchen zu Theilchen verwechseln mufs, dem Abstande vom Mittelpuncte umgekehrt proportional, und da wir Grund haben anzunehmen, dafs der Eindruck auf unser Auge der lebendigen Kraft, das ist, dem Quadrate der Geschwindigkeit der oscillirenden Theilchen proportional sey, so ist dieser Eindruck und folglich das, was wir Intensität des Lichtes nennen, dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportional.

Man hat es als einen Einwurf gegen die Undulationstheorie angeführt und vorzüglich Newton betrachtet es als einen wichtigen Einwurf, dafs die Begrenzung des Schattens undurchsichtiger Körper durch gerade Linien bestimmt ist, da doch Wellen um den Rand des die Wellen aufhaltenden Körpers herum in den Schattenraum eintreten würden. Zur Widerlegung dieses Einwurfs führt F. W. Herschel drei Umstände an, 1. dafs es zwar in den Gesetzen der Fortpflanzung der Vibrationen liege, dafs sie auch seitwärts von jenem Rande aus mit eben der Schnelligkeit fortgepflanzt werden, aber dafs es nicht nothwendig sey, dafs diese Fortpflanzung seitwärts mit ziemlich eben der Stärke statt finde, wie nach der geraden Richtung vom Mittelpuncte

abwärts; 2. auch der Schall, obgleich er sich von dem Rande eines entgegengestellten Körpers seitwärts verbreitet, ist doch in der Gegend, wohin die gerade fortgepflanzten Schalllinien nicht gelangen, schwächer; 3. und endlich sehen wir ja bei der Inflexion des Lichtes doch wirklich Lichtstrahlen innerhalb des eigentlichen Schattenraumes. Man kann hier auch wohl noch das hinzusetzen, dafs, je schneller die Fortpflanzung der Vibrationsbewegung ist, desto weniger merklich die Fortpflanzung seitwärts seyn kann. Aus diesem Grunde sehen wir die langsam vorrückenden Wasserwellen, wenn sie durch die Oeffnung einer Wand gehen, sich kreisförmig jenseit dieser Oeffnung ausbreiten; die schnellern Schallvibrationen lassen uns zwar auch seitwärts von der Oeffnung den Schall wahrnehmen, aber viel schwächer, als in der Richtung, in welcher sie zu der Oeffnung gelangten, also dürfen wir schliefsen, dafs, wenn die Schallwellen sichtbar wären, wir sie gerade vor der Oeffnung lebhaft erregt, seitwärts dagegen zwar in Kreislinien, deren Mittelpunct die Oeffnung wäre, fortgesetzt, aber viel schwächer wahrnehmen würden. Und nun läfst sich wohl einsehen, warum die sehr schnelle Fortpflanzung der Lichtvibrationen nur sehr in der Nähe der Schattengrenze noch Spuren einer seitwärts gehenden Fortpflanzung zeigt. Dieser Einwurf ist daher völlig widerlegt und die Beugung des Lichtes spricht vielmehr für die Undulationstheorie.

Dagegen läfst sich die Abirrung des Lichtes, die veränderte Richtung, in welcher der Lichtstrahl auf der bewegten Erde unser Auge trifft, nicht ohne eine etwas schwierige Voraussetzung erklären. Fresnel gesteht selbst, dafs die Aberration sich nur dann nach der Undulationstheorie gut erklären lasse, wenn man annimmt, dafs der Aether frei durch die ganze Erdkugel durchströmt und dafs die diesem feinen Fluidum mitgetheilte Geschwindigkeit nur ein geringer Theil der Geschwindigkeit der Erde ist. Und allerdings, wenn die Erde den ihr im Wege liegenden Aether mit sich fortrisse und den hinter ihr bleibenden Aether nöthigte, ihr zu folgen, so würden die das Fernrohr füllenden Aethertheilchen dieselben bleiben, indem die Erde fortrückt, und Vibrationen, die zum Beispiel senkrecht gegen die Richtung der Bewegung der Erde wären, würden in diesem mit dem Fernrohre fortgeführten Aether eben so fortgehen, als ob die Erde ruhte. Fresnel macht selbst hiergegen den Ein-

wurf, dafs ja die Erde durchsichtig seyn müsse, wenn der Aether so frei, fast ganz ungehindert, durch die Zwischenräume der Erdmasse hindurch strömen könne; aber er beruhigt sich hierüber durch die Ueberlegung, dafs die durchsichtigen Körper nur darum durchsichtig sind, weil sie die Vibrationen *regelmäfsig* durchlassen, und dafs diese wohl in eine *Discordance* gerathen, eben dadurch aber Undurchsichtigkeit hervorbringen können, selbst da, wo ein Strom durchgelassen würde. Ich mufs gestehen, dafs mir diese Voraussetzung mit unsern sinnlichen Vorstellungen nicht gut übereinzustimmen scheint, und dafs auf jeden Fall diejenigen Gegner der Emissionstheorie, die es als einen so wesentlichen Einwurf ansehen, dafs die Newton'schen Lichtpartikeln nach allen möglichen Richtungen durch ein dünnes Glas sollen dringen können, hier vollends in Verlegenheit gerathen müssen, wo der Aether durch die 1720 Meilen dicke Erde mit eben der Leichtigkeit, wie durch ein Spinnengewebe hindurch strömt. Hat man übrigens dem Aether einmal diese Eigenschaft, die man nach Willkür modificiren kann, ertheilt, so ist man über die von Arago angestellte Beobachtung, dafs die Brechung nicht durch die relative Geschwindigkeit des Lichtes gegen die Erde bestimmt wird, nicht weiter in Verlegenheit [1].

Die regelmäfsige Zurückwerfung des Lichtes von Spiegeln läfst sich nach dieser Theorie sehr gut erklären, und auch der in der Emissionstheorie unstreitig immer schwierige Umstand, dafs ein Theil des Lichtes beim Eindringen in einen dichteren Körper zurückgeworfen wird, während der übrige Theil eindringt, und dafs eben so beim Hervorgehen aus dem dichteren Körper eine ähnliche theilweise Reflexion statt findet, gestattet hier eine vollkommene, dem ganzen Systeme entsprechende Erklärung.

Die Reflexion erfolgt nur da, wo ein Uebergang der Lichtvibrationen in einen andern Körper, das heifst hier, in einen Aether von anderer Elasticität statt findet, indem hier angenommen wird, dafs in den stärker brechenden Körpern ein minder elastischer Aether ist, in welchem sich die Lichtvibrationen langsamer fortpflanzen. Hier bilden sich in jedem Puncte U der Oberfläche BU zwei Wellen, eine in den andern Körper eindringend, eine zurückkehrend in das Medium, worin die

Fig. 37.

1 Ann. de Ch. et Phys. IX. 57.

ankommende Welle sich befand. Da die letztere sich in eben dem Medium fortpflanzt, so hat sie auch gleiche Geschwindigkeit mit der ankommenden Welle, und die Frage ist nun, wie wird ein Auge in X durch diese zurückgeworfenen, ursprünglich von A ausgehenden Wellen afficirt, das heifst, welches ist der Radius der das Auge X treffenden reflectirten Wellen, denn in der Richtung dieses Radius sieht das Auge X das Spiegelbild des Gegenstandes.

Die von A ausgehenden Wellen treffen zu ungleichen Zeiten in B, C, U ein, und die in B eintreffende Welle hat schon eine bis nach b c zurückgegangene Welle erregt in dem Augenblicke, da die in U antreffende Welle erst diesen Punct U erreicht; ebenso hat die in C antreffende Welle eine zurückgehende Welle d e erregt, die schon nach d e gekommen ist, wenn die herankommende Welle U erreicht, und so läfst sich für D und alle übrige Puncte die Lage der zurückgehenden Welle demselben Augenblicke entsprechend zeichnen, wenn die Summe der Radien $AB + Bb = AC + Cd = AD + Df = AU$ ist. Es läfst sich aber leicht zeigen, dafs, wenn man $Ea = EA$ auf der gegen BU senkrechten Linie nimmt und durch U einen Kreis um den Mittelpunct a zieht, dieser alle jene zurückgehenden Wellen berühren wird, das heifst, der Punct g wird zugleich von der von B und von B′, unendlich nahe an B, ausgehenden Welle erschüttert, X wird zugleich von der von D und von D′ ausgehenden Welle erschüttert, und genau so, wie die Brennlinie uns lebhaft erleuchtet erscheint, weil sie gleichsam als gebildet aus den Durchschnittspuncten unendlich nahe an einander liegender Strahlen erscheint, so entsteht hier eine aus dem Zusammentreffen benachbarter Lichtwellen lebhaft hervorgehende Lichtwelle g e X U. Diese Lichtwelle, die als vereinigte Wirkung der nahe bei einander entstandenen Reflexionen unser Auge stärker rührt, rückt offenbar so fort, als ob sie von dem Mittelpuncte a ausginge; denn wenn man die vereinte Wirkung aller von B, C, D, U ausgegangenen Wellen für einen etwas spätern Augenblick sucht, so finden wir diese vereinte Wirkung abermals in einem um a gezognen Kreise von etwas gröfserem Halbmesser, und diese vereinte Wirkung der Reflexion rückt also als eine neue Lichtwelle, deren Mittelpunct a ist, fort, das heifst, ein Auge in X oder

in irgend einem Puncte sieht das Bild des Gegenstandes A in a [1].

Die Richtigkeit dieser Behauptung wird durch folgende Darstellungsweise vielleicht noch etwas klarer. Da der von D und von einem unendlich nahe an D liegenden Puncte ausgehende Impuls gleichzeitig in X ankommt, so ist der Eindruck auf das Auge der mittleren Richtung beider, das ist, dem Krümmungshalbmesser der die beiden Wellen hier berührenden Grenzcurve parallel; aber diese Grenzcurve, die alle Wellen in demselben Zeitmomente umschliefst, ist der um a gezogene durch X gehende Kreis.

Wenn die Lichtwelle aus einem Medium in ein anderes übergeht, so findet sie hier einen mehr oder minder verdichteten Aether und wird sich also hier mit einer andern Geschwindigkeit fortpflanzen. Um die Gesetze dieser Fortpflanzung kennen zu lernen, wollen wir eine Welle, die von einem sehr entfernten Mittelpuncte ausgeht und die daher als geradlinig herankommend anzusehen ist, betrachten. Eine solche Welle sey AB, die nach den Richtungen CE, BD, senkrecht auf AB, vorrückend die Ebene AD als Trennungs-Ebene der beiden Medien trifft. Indem der Punct A der Welle diese Oberfläche erreicht, entstehen von A aus neue, nach allen Seiten fortgepflanzte Undulationen, die aber, so wie die Elasticität des Aethers jenseit AD es fordert, sich langsamer oder schneller, als die Welle AB, fortpflanzen; ich will hier annehmen, langsamer, so dafs die von A ausgehende Welle den Kreis FG erreicht hat, während die aufserhalb vorrückende Welle von B nach D gelangt. Im nächsten Augenblicke, nachdem die Undulation in A entstanden ist, bringt die vorrückende Welle ab in a eine Undulation hervor, die in dem zweiten Medium eben so schnell, wie die von A ausgehende, fortschreitet; diese wird bis fg gelangt seyn, während die aufserhalb vorrückende Welle bis D kommt, und es ist $af : AF = bD : BD$. Hieraus ergiebt sich leicht, dafs eine durch D gehende gerade Linie alle die von A, a, E ausgegangenen Wellen, die so weit, als es die zur Fortpflanzung von B bis D nöthige Zeit fordert, fortgegangen sind, berührt. Die in H erregte Oscillation ist also die vereinigte Wirkung der einander unendlich nahe in A und nahe an A er-

Fig. 38.

1 Ann. de Chim. et Phys. XXI. 241.

regten und bis H vorgeschrittenen Wellen, und diese vereinigte Wirkung schreitet nach einer auf HD senkrechten Richtung AH fort, das heifst, da diese Richtung die Richtung des gebrochenen Strahles ist, so wie die auf AB senkrechte Richtung SA die Richtung des einfallenden Strahles war, so ist der Sinus des Brechungswinkels $= \text{Sin.}\,(90° - \text{DAH}) = \frac{\text{AH}}{\text{AD}}$ und der Sinus des Einfallswinkels war $= \text{Sin. BAD} = \frac{\text{BD}}{\text{AD}}$. Das Verhältnifs dieser Sinus, welches man das Brechungsverhältnifs nennt, ist daher $= \text{AH} : \text{BD}$, das ist, wie die Geschwindigkeiten der Wellenfortpflanzung in beiden Mitteln. Es folgt daher auch hier die durch die Erfahrung schon gegebene Regel, dafs die Sinus jener beiden Winkel bei jeder Richtung des einfallenden Strahles ein constantes Verhältnifs behalten, und da in stärker brechenden Mitteln der Winkel des Strahles mit dem Einfallslothe kleiner nach der Brechung als vor der Brechung ist, so ergiebt sich, dafs in dichteren oder stärker brechenden Mitteln das Licht sich langsamer fortpflanzt, statt dafs Newton's Theorie demselben eine schnellere Bewegung in den dichteren Mitteln beilegt.

Aber eine wichtige Schwierigkeit stellt sich hier der Undulationstheorie entgegen. Die Brechung hängt nach dieser Theorie ganz allein von dem Verhältnifs der Geschwindigkeiten ab, mit welchen die Lichtwellen im ersten und im zweiten Medium sich fortpflanzen; diese Geschwindigkeiten aber sind einzig durch die Elasticität des Aethers in beiden Medien bestimmt und folglich gleich grofs für die Lichtwellen, die durch ihre ungleiche Länge und ihre dadurch hervorgebrachte ungleich schnelle Erneuerung gleicher Vibrationsphasen in uns die Empfindung verschiedener Farben hervorbringen; also müfsten alle Farbenstrahlen gleiche Brechung erleiden und ein solches Phänomen, wie die Farbenzerstreuung bei der Brechung, könnte gar nicht eintreten. Poisson, der mit grofsem Scharfsinne alle Theoreme der Undulationstheorie untersucht hat, erkennt dieses als einen höchst wichtigen Einwurf gegen diese Theorie an. Er bemerkt, dafs nach der Brechung noch immer eben so viele Vibrationen in bestimmter Zeit erfolgen, als vor der Brechung, indem die Länge der Wellen oder der Abstand gleicher Vibrationsphasen in eben dem Mafse verkürzt ist, als die Fortpflanzung langsamer wird, dafs also die Farbe des Lichtes nach der Brechung

eben so bleibe, wie vor der Brechung, aber eben darum auch die Möglichkeit der Zerstreuung in Farbenstrahlen wegfalle [1]. Poisson setzt hinzu, dafs Euler's Vermuthung, die auf einander folgenden Wellen möchten wohl einen gegenseitigen Einflufs haben, wodurch die Bewegung beschleunigt werde, das Phänomen nicht erkläre, indem dann die kürzeren, violetten Wellen den gröfsten Einflufs haben, also die gröfste Beschleunigung der Geschwindigkeit, das heifst, die geringere Aenderung der Geschwindigkeit zeigen müfsten; aber da hier die Brechung geringer ist, je weniger die Geschwindigkeit sich ändert, so müfsten dann die violetten Strahlen die weniger gebtochenen seyn. Poisson, der sich mit grofser Vorsicht in den genauen Grenzen dessen hält, was eine strenge Theorie ergiebt, drückt sich so hierüber aus. „Die Fortpflanzung einzelner Wellen und die Fortpflanzung einer Wellenreihe ist gleich, aber, um nicht über die Grenzen der durch die Analysis begründeten Folgerungen hinaus zu gehen, mufs man gestehen, dafs es noch nicht demonstrirt ist, dafs auch dann die Länge der Welle ohne allen Einflufs sey, wenn die Wirkungssphäre derjenigen Kräfte, welche die Elasticität des Aethers bestimmen, eine mit der Wellenlänge vergleichbare Ausdehnung hat, und dafs sich nicht wohl voraussehen läfst, welche Einwirkung auf die ungleiche Brechung der Wellen von verschiedener Länge sich daraus ergeben könnte." Th. Young und Fresnel suchen jene Schwierigkeit dadurch wegzuräumen, dafs sie die Vibrationen der eigentlichen Materie des Körpers als die Aetherschwingungen modificirend annehmen; aber Herschel nennt dieses einen mehr scharfsinnigen als erfolgreichen Versuch. Indefs hat Fresnel, der alles aufbietet, um den Sieg der Undulationstheorie zu bestätigen, einige Phänomene zur Unterstützung dieser Meinung angeführt [2]. Dahin gehört, nach seiner Ansicht, die im Innern der Körper an allen Theilchen statt findende Reflexion. Ist es blofs die ungleiche Dichtigkeit des Aethers in zwei Körpern, welche eine zurückgeworfene Welle beim Eintritt in den andern Körper hervorbringt, so kann im Innern keine neue Zurückwerfung eintreten; dagegen, wenn die Zurückwerfung an

1 Ann. de Ch. et Phys. XXII. 261.

2 Ebendas. XV. 380.

den materiellen Theilchen des Körpers eintritt, so ist dieses allerdings möglich. Dagegen scheine zwar die Bemerkung zu streiten, dafs die in allen möglichen Phasen ihrer Verdichtung und Verdünnung zurückgeworfenen Aetherwellen mit einander interferiren und sich gegenseitig zerstören müfsten; aber da die Abstände der Theilchen von einander nicht ganz und gar als unbedeutend in Vergleichung gegen eine Wellenlänge anzusehen seyn möchten, so könne sich nicht für jede zurückgeworfene Welle eine genau interferirende finden, indem dieses nur der Fall wäre, wenn jedem einzelnen Körpertheilchen im genauen Abstande einer halben Wellenlänge ein anderes Körpertheilchen entspräche; es entstehe daher eine wenn gleich schwache Reflexion im Innern des Mediums. Dafs dieses ein mit der Erfahrung übereinstimmendes Resultat ist, brauche ich nicht erst zu bemerken; aber diese Erfahrung scheint mir nicht als Stütze jener Meinung, dafs es die Körpertheilchen selbst sind, die die Reflexion bewirken, dienen zu können; denn da kein Körper ein homogenes Medium darbietet, so ist es offenbar, dafs da, wo Zwischenräume, so wie sie in den Poren kenntlich werden, vorhanden sind, eben so gut Unterschiede in der Dichtigkeit des Aethers, also Veranlassungen zu reflectirten Wellen an den Grenzflächen des dünnern und dichtern Aethers vorkommen können, und namentlich kann diefs in der Atmosphäre wohl der Fall seyn, die doch nur als eine sehr gut gemischte, aber keineswegs homogene Vereinigung mehrerer Luftarten mit Dämpfen anzusehen ist, in welcher wenigstens die Dampftheilchen als abgesondert schwebend anzusehen sind. Etwas mehr spricht für die Einwirkung der materiellen Theilchen auf die Brechung und Zurückwerfung das Phänomen der doppelten Strahlenbrechung und insbesondere die hier auch von Fresnel angeführten Erscheinungen, wo eine blofse Biegung des Glases, also eine andere Anordnung der Theilchen, eine Einwirkung zeigt. Aber wenn es vorzüglich die eigentlichen, den Körper bildenden, Theilchen sind, in denen sich die Vibrationen fortpflanzen, dann scheint die auf eine Fortpflanzung der Wellen in elastischen Medien gegründete Theorie nicht mehr so vollkommen anwendbar zu bleiben. Indefs dafs alsdann der Meinung, dafs kürzere Wellen anders als längere in ihrer Geschwindigkeit verändert werden könnten, und dafs diese Ungleichheit in verschiedenen Materien ungleich seyn, also eine ungleiche Farben-

zerstreuung statt finden könnte, ein freieres Feld gegeben werde, ist einleuchtend.

Was denjenigen bei der Brechung des Lichtes vorkommenden Fall betrifft, wo aus einem stärker brechenden Mittel der Strahl nicht in das weniger brechende hervordringen kann und daher eine totale Reflexion entsteht, so scheint es allerdings auffallend, warum denn hier die Vibration sich gar nicht an die aufserhalb liegenden Theilchen mittheilen sollte. Aber diese Schwierigkeit löset sich genügend auf, indem die strenge Untersuchung zeigt, dafs bei der Mittheilung der Vibrationen unter diesen Umständen zwar allerdings in der nächsten Schicht des zweiten Mediums Vibrationen entstehen, aber mit so schneller Verminderung ihrer Stärke, dafs sie schon in Entfernungen, welche mit der Wellenlänge von einerlei Ordnung sind, unmerklich werden [1].

Poisson hat durch Rechnung die verhältnifsmäfsige Intensität des zurückgeworfenen und des eindringenden Lichtstrahles, so wohl beim Uebergange in ein stärker brechendes, als in ein schwächer brechendes Medium, bestimmt, und dabei für senkrecht auftreffende Lichtstrahlen Verhältnisse gefunden, die der Erfahrung gut zu entsprechen scheinen [2]; aber dagegen bemerkt er eine Folgerung aus der Theorie, die der Erfahrung nicht entspricht. Diese besteht darin, dafs bei gewissen Einfallswinkeln, die von dem Verhältnisse der Brechungen abhängen, die Reflexion sowohl beim Eintritte in den stärker brechenden Körper, als auch beim Austritte verschwinden soll, was doch bei unpolarisirtem Lichte nicht statt findet. Aber Poisson bemerkt hier mit Recht, man dürfe nicht zu schnell wegen dieser Abweichungen der Theorie von der Erfahrung die Undulations-

---

1 Und hier verdient wohl eine Beobachtung, die man beim Schalle angestellt hat, erwähnt zu werden, indem sie genau dieser Behauptung entsprechend ist. Sturm und Colladon stellten Schallversuche an, bei welchen eine Glocke in etwa 2 Fufs Tiefe unter dem Wasser angeschlagen wurde. Dieser Schall wurde aufser dem Wasser so lange deutlich gehört, als die Schallstrahlen die Oberfläche unter einem erheblich grofsen Winkel trafen; er wurde dagegen gar nicht mehr gehört, wenn sie unter einem kleinen Winkel antrafen; die Vibrationen gingen dann gar nicht mehr aus dem Wasser in die Luft über. Poggend. Ann. XII. 188.

2 Sie kommen in der Folge in diesem Art. vor.

theorie verwerfen, indem die Theorie eine plötzliche Aenderung in der Dichtigkeit des Aethers in der Grenze beider Medien voraussetzt und ihre Resultate anders hervorgehen würden, wenn man auf die sehr dünne Schicht Rücksicht nähme, in welcher vielleicht ein, wenn auch nur auf einen sehr engen Raum beschränkter, Uebergang von einer Dichtigkeit zur andern statt finden mag.

Die Erscheinungen, wo zusammentreffende Lichtstrahlen unter gewissen Umständen nicht eine vermehrte, sondern eine verminderte Erleuchtung geben, die Erscheinungen der *Interferenzen,* sind es vorzüglich, durch deren glückliche Erklärung sich die Undulationstheorie auszeichnet. Wenn in der That die Licht-Erscheinungen aus der Fortpflanzung von Lichtwellen, in welchen einer Verdichtung des Aethers eine entsprechende Verdünnung des Aethers folgt, hervorgehen, so läfst sich übersehen, dafs zwei beinahe in gleicher Richtung ankommende Wellen, deren eine in demselben Puncte ihre gröfste Verdünnung erreicht, wo die andere am meisten verdichtet ist, gegenseitig ihre Wirkung zerstören müssen, wenn sie von gleicher Art und von gleicher Intensität sind. Wenn zwei sehr nahe nach derselben Richtung fortgehende gleichartige Lichtwellen sich in irgend einem Puncte treffen, wo ihre Undulationsphasen nicht ganz entgegengesetzt sind, da werden sie einander zur Verstärkung dienen, so lange ihre Phasen nicht weit aus einander liegen, dagegen werden sie einander schwächen, ohne sich gänzlich zu zerstören, wenn die Phase der einen Welle nicht weit von der entgegengesetzten Phase der andern ist. Die theoretische Betrachtung zeigt, dafs zwei gleichfarbige Strahlen, wenn sie zusammenwirken, eben die Farbe zeigen, dafs nämlich zwei Wellen von gleicher Wellenlänge, die in ungleichen Phasen zusammentreffen, sich zu einer Welle von eben der Länge vereinigen, die sich aber in einer Phase, verschieden von den Phasen beider zusammentreffenden, befindet und in welcher die Gröfse der Ausweichung der Theilchen von den Ausweichungen in den beiden zusammentreffenden Wellen abhängt.

Diese Betrachtung der Interferenzen giebt auch eine Beantwortung der Frage, warum man den gebrochenen oder den reflectirten Strahl nur in einer einzigen bestimmten Richtung fortgehen sieht, da doch von jedem Puncte der Trennungsfläche

beider Medien Undulationen nach allen Seiten ausgehn [1]. In der That breiten sich die von A ausgehenden Undulationen in dem zweiten Medium auch nach F aus, und wenn im strengsten Sinne A der einzige Punct wäre, von welchem Lichtwellen ausgingen, das heifst, wenn die Oeffnung bei A, selbst gegen die Länge einer Lichtwelle, als sehr klein könnte angesehen werden, so würde in F und in H die Undulation kenntlich werden müssen. Aber da wir hier keine so kleine Oeffnung zum Eintritte in die Brechungs-Ebene annehmen, dafs sie gegen die nur 2 Hunderttausendtel Zoll betragende Länge der Lichtwellen unerheblich wäre, so wird die Undulation nur da merklich, wo die benachbarten Lichtwellen zu ihrer Verstärkung, nicht zu ihrer Schwächung beitragen. In H verstärken sich die benachbarten Lichtwellen, weil sie wegen des gleichzeitigen Eintreffens sich in gleichen Undulationsphasen befinden; in F dagegen hat die von a kommende Undulation einen längern Weg durchlaufen, als die von A kommende, und gewifs befinden sich unter den zwischen A und a ausgehenden Wellen, indem sie F erreichen, Wellen in allen möglichen Undulationsphasen, das heifst, Wellen, die ihre Einwirkung gegenseitig zerstören, und da gar keine Wellen in F eintreffen, für welche eine genaue Gleichheit der Wege statt fände, so hebt dieses Interferiren alle Wirkung auf. Auch in H kommen allerdings von denjenigen Puncten, die entfernter von A sind, Wellen an, die sich zerstören; aber der Raum A a, von welchem Wellen in beinahe im strengsten Sinne gleichen Phasen in H eintreffen, ist so erheblich, dafs dadurch eine sehr verstärkte Lichtwelle entsteht, die von den entferntern Lichtwellen zwar keine Verstärkung mehr erhält, aber auch von ihnen keine Schwächung erleidet [2].

Fig. 38.

---

1 Poisson hat gegen die folgende Darstellung einige wichtige Einwürfe gemacht, indefs theile ich sie hier, als den Ansichten der Vertheidiger der Undulationstheorie entsprechend, mit. Vergl. Ann. de Ch. et Ph. XXII. 279.

2 Wenn λ die Länge einer Lichtwelle ist, $AH = m\lambda$, $Aa = n\lambda$, so ist in der mit AH parallelen Linie aG der Abstand des Kreises HG von seiner Tangente $= m\lambda . (1 - \text{Cos.}\, GAH)$; aber man kann hier den Bogen $GH = Aa . \text{Sin.}\, DAH = n\lambda\, \text{Sin.}\, \varphi$, den zugehörigen Winkel $= \frac{n\lambda\, \text{Sin.}\, \varphi}{m\lambda}$, also jenen Abstand $= m\lambda . \frac{n^2\, \text{Sin.}^2 \varphi}{2m^2} = \frac{n^2}{2m} \lambda\, \text{Sin.}^2 \varphi$ setzen. Ist also

Genau eben das gilt bei der Zurückwerfung der Strahlen. In beiden Fällen kann aber, wenn die Oeffnungen so klein werden, daſs sie gegen die Länge einer Lichtwelle nicht mehr so bedeutend groſs sind, sich die Erscheinung zeigen, die im Art. *Inflexion* als bei sehr feinen, in Glas eingeschnittenen Linien hervorgehend angegeben ist. Wäre nämlich in A wirklich nur ein einziger Punct zum Einlassen des Lichtstrahls offen und bei a ein zweiter Punct, so würde in dem Puncte F, wo A F und a F genau um eine ganze Wellenlänge verschieden sind, eine Lichterscheinung durch Interferenz der Lichtstrahlen kenntlich seyn, wie es auch wirklich die Erfahrung zeigt.

Bei dem Durchgange des Lichtes durch dünne Körper oder bei der Entstehung der *Newton'schen Farbenringe*, die ich oben angeführt habe, bietet sich eine der Gelegenheiten dar, die uns zur Kenntniſs der Länge der Lichtwellen führen. Hier nämlich wird, nach der Erklärung, welche die Undulationstheorie giebt, die Erscheinung eines durch Zurückwerfung entstehenden hellen Ringes dadurch hervorgebracht, daſs eine von der zweiten Oberfläche der dünnen Luftschicht zurückgeworfene Lichtwelle mit der von der ersten Oberfläche zurückgeworfenen Lichtwelle so zusammentrifft, daſs sie einander verstärken; dieses geschieht da, wo der Zwischenraum der beiden Oberflächen gleich dem Viertel einer Wellenlänge in der Luft ist, weil nach Young und Fresnel die beim Eintritte in einen dichteren Körper entstehende reflectirte Welle sich in der genau entgegengesetzten Undulationsphase befindet, die sie bei der Reflexion von einem dünnern Medium haben würde, und der Unterschied der Wege also gleich einer halben Wellenlänge seyn muſs, wenn die zusammentreffenden Wellen um eine ganze Wellenlänge verschieden seyn und folglich sich einander verstärken sollen. Nun betrug jener Abstand[1] für die äuſsersten violetten Strahlen 4, für die äuſsersten rothen Strahlen 6,3 Milliontel eines engl. Zolls, und die Länge dieser verschiedenfarbigen Lichtwellen beträgt

---

m λ auch nur gleich der zehntausendfachen Länge einer Lichtwelle (etwa $\frac{1}{4}$ Zoll), so müſste n schon 100 Wellenlängen betragen, ehe der Abstand eine halbe Wellenlänge betrüge, und also 50 Wellenlängen, ehe die Lichtwellen kommen, die nicht mehr zur Verstärkung beitragen.

1 Art. *Anwandlungen*. Bd. I. S. 312.

folglich bei der einen Farbe 16, bei der andern 25 Milliontel eines engl. Zolls. Die folgende Tafel giebt diese Zahlen noch genauer an (nach Herschel).

	Länge der Wellen in Milliont. d. engl. Zolls	Anzahl der Wellen in 1 Zoll	Anzahl der Billion. von Vibration. in 1 Sec.
Grenze des Roth	26,6	37640	458
Grenze des Roth u. Orange	24,6	40720	495
Grenze des Orange u. Gelb	23,5	42510	517
Grenze des Gelb u. Grün	21,9	45600	555
Grenze des Grün u. Blau	20,3	49320	600
Grenze des Blau u. Indig	18,9	52910	644
Grenze des Indig u. Violett	18,1	55240	672
Grenze des äufs. Violett	16,7	59750	727

Das Antreffen derjenigen Lichtwellen, die uns die äufserste Grenze des Violett darstellen, wiederholt sich also 727billionenmal in einer Sec. Fraunhofer hat ähnliche und noch genauere Bestimmungen gegeben, die sich an die von ihm entdeckten dunkeln Linien anschliefsen[1] und die Länge der Lichtwellen für die durch diese Linien genau bezeichneten Strahlen angeben.

Den Grund, warum die zurückgeworfene Welle um eine halbe Wellenlänge verschieden ist, je nachdem sie an der Trennungsfläche zweier Medien entweder in das dünnere, oder in das dichtere zurückkehrt, hat Young auf folgende Weise dargestellt. Wenn eine bewegte elastische Kugel an eine gleich grofse ruhende elastische Kugel antrifft, so erhält die letzte die Geschwindigkeit der ersten und diese dagegen bleibt ruhend; und eben so geschieht es bei der Fortpflanzung des Schalles oder des Lichtes in dem elastischen Medium, dafs sich die Vibration auf das nächste Theilchen überträgt, während das vorige in Ruhe kommt, so lange die Vibration sich in einem homogenen elastischen Fluidum fortpflanzt. Soll aber die Vibration in ein dichteres Fluidum übergehen, so verhält es sich so, wie bei dem Antreffen einer kleinern Kugel an eine gröfsere, jene wird zurückgeworfen und die Geschwindigkeit wird also eine negative in Vergleichung gegen die vorige. Dagegen, wenn die ru-

1 G. LXXIV. 359.

hende Kugel die kleinere ist, so behält die antreffende eine Geschwindigkeit nach derselben Richtung, und eben das ist der Fall, wenn das neue Medium, zu welchem die Vibration gelangt, ein dünneres ist. Im letzten Falle geht eine halbe Undulation verloren, weil das vibrirende Theilchen noch ein wenig vordringt und erst bei dem Rückgange die reflectirte Undulation in dem Fluidum, in welchem die herankommende Bewegung statt fand, bewirkt [1]. Ich komme hierauf in der Folge noch zurück. Statt dafs hiernach keine halbe Undulation verloren geht, wenn der Strahl von einem stärker brechenden Medium, blofs durch die Vibrationen des Aethers, reflectirt wird, so soll dagegen (nach Young und Fresnel) dieser Verlust einer halben Undulation statt finden, wenn die Reflexion an den materiellen Theilchen selbst statt findet, und Fresnel hat zu zeigen gesucht, dafs das Letztere der Fall sey. Er [2] brachte nämlich einen directen und einen von unbelegtem Glase reflectirten Strahl in eine nahe übereinstimmende Richtung und fand, dafs bei *gleichen* durchlaufenen Wegen ein gegenseitiges Zerstören des Lichtes, ein dunkler Streifen statt fand.

Bei den Newton'schen Farbenringen entsteht der dunkle Mittelpunct der reflectirten Ringe aus dem Verluste einer halben Undulation; da nämlich hier, wo die Dicke der Schicht verschwindend ist, wo also die Wege der von der ersten und zweiten Oberfläche reflectirten Strahlen gleich sind, diese vereinigt wirkenden Strahlen sich zerstören, so mufs die Undulationsphase des einen genau der des andern entgegengesetzt seyn, bei gleicher Länge der Wege, das heifst, der eine mufs eine halbe Undulation verloren haben, und zwar deswegen, weil bei der einen Reflexion der Strahl aus dem dichteren Medium in ein dünneres übergeht.

Die Erscheinungen der Beugung kann ich hier ganz übergehen, da schon im Art. *Inflexion* die Erklärung nach der Undulationstheorie vorkommt. Sie geben auf mehr als eine Weise der Undulationstheorie einen grofsen Vorzug, nicht allein, weil die Erscheinungen sich so vollständig durch Interferenzen, die-

---

1 Die Frage, ob die Interferenz in der Gegend der dunkeln Ringe ganz genau alles Licht aufhebe, hat Poisson beantwortet. Ann. de Ch. et Ph. XXII. 337.

2 Ann. de Chim. et Phys. XV. 382.

ser Theorie gemäfs, erklären lassen, sondern auch weil eine Aenderung des Ortes, von welchem das Licht ausstrahlt, solche Veränderungen in den Erscheinungen bewirkt, dafs es unmöglich ist, diese aus den Attractionen und Repulsionen des Körpers, an dessen Seiten das Licht vorbeigeht, zu erklären.

Die doppelte Brechung lehrte schon Huyghens aus der Undulationstheorie erklären und die neueren Untersuchungen bestätigen dem Wesentlichen nach seine Ansichten. In einem krystallisirten Körper, wie der Doppelspath, läfst sich gar wohl annehmen, dafs die Elasticität des Aethers nicht nach allen Richtungen gleich, sondern durch die Attraction der Körpertheilchen so modificirt ist, dafs sie einen andern Werth hat für die Richtung mit der Axe des hier als einaxig angenommenen Krystalls parallel, einen andern Werth für die gegen diese Axe senkrechten Richtungen. Huyghens nahm die Vorstellung von sphäroidischen Theilchen dabei zu Hülfe, die Wollaston noch weiter verfolgt hat [1]. Ohne uns gerade an diese Voraussetzung zu binden, läfst sich wenigstens zeigen, dafs, wenn es in diesen Krystallen sphäroidische Wellen gäbe, für diese das Gesetz der Fortpflanzung ein ganz anderes als für kugelförmige Wellen seyn müfste. Denken wir uns nämlich C als den Punct der Oberfläche HEB, welcher von dem nach der Richtung RC herankommenden Strahle getroffen wird, so müssen wir uns eine um C als Mittelpunct entstehende sphäroidische Undulation denken; indem die Welle CO, die wir als von einem unendlich entfernten Puncte kommend, als eine ebene Welle ansehn, vorrückt, bringt sie in einem Puncte nahe an C, der in der verlängerten Projection des Strahles RC auf die Oberfläche, nämlich in CK liegt, eine neue Undulation von gleicher Form hervor, und es ist offenbar, dafs im Innern des Krystalls die Erleuchtung in den Puncten wird wahrgenommen werden, wo diese beiden Sphäroide sich berühren. So wie wir bei der gewöhnlichen Brechung Kreise zeichneten, deren Grenzlinie für das Ende gleicher Zeiten uns die im Innern des brechenden Körpers fortgehende Welle kennen lehrte, so construiren wir hier Sphäroidenflächen, deren einem gleichen Zeitpuncte entsprechende Grenzflächen die aus ihrer vereinigten Wirkung entspringende Welle ergeben, und da findet sich, wenn in einer

Fig. 39.

1 Phil. Transact. 1812. p. 53.

gewissen Zeit die Welle CO aufserhalb des Krystalls bis an K fortgerückt ist, zugleich aber HME die in eben dem Zeitraume im Innern vorgerückte Undulation vorstellt, dafs die ebene Welle, die in OC antrat, auch im Innern als ebene Welle fortgeht, und zwar nach der Richtung, die der Radius CI der Undulation bezeichnet, wenn I der Berührungspunct einer Ebene ist, welche durch die auf CK senkrechte in der Oberfläche CHK gezogene Linie KT gehend jene Undulation berührt [1]. Stellt I den Berührungspunct an der Undulation vor, die von C ausgehend bis HMIK vorgerückt ist, während die Welle GO durch OK fortschritt (wie unsere Construction es forderte), so verhält sich die Geschwindigkeit dieser ungewöhnlichen Welle zu der Geschwindigkeit vor dem Eintritte, wie CI zu CO, und CI ist und bleibt die Richtung der eingedrungenen Welle, obgleich diese Richtung CI nicht, wie bei sphärischen Undulationen, auf die hervorgehende Welle senkrecht ist.

Dieser Strahl CI, welchen ich sogleich als den ungewöhnlich gebrochenen, der aus RC hervorgeht, benenne, weicht in den meisten Fällen von der Einfalls-Ebene ab und giebt in der That die Lage des gebrochenen Strahles so an, wie die Beobachtung sie bei einaxigen Krystallen kennen gelehrt hat; alle Verschiedenheiten seiner Brechung, je nachdem der Strahl in der Haupt-Ebene des Krystalls oder gegen sie geneigt einfällt u. s. w., werden richtig durch diese Construction angegeben.

Die Vorstellung von einer solchen Art von Undulationen, die zugleich neben den gewöhnlichen Undulationen statt finden

---

1 Wenn man sich nur die ohne alle Breite gedachte Lichtwelle CO, die also nach und nach in verschiedenen Puncten der Linie CK Undulationen, alle der Undulation HME ähnlich, erregt, vorstellt, so ist die Grenzfläche aller der Sphäroide, aller der Undulationen, welche in einem gegebenen Augenblicke eingedrungen sind, eine Kegelfläche, deren Spitze in K liegt; aber sobald man der Welle, die als eine senkrecht auf RCO stehende Ebene heranrückt, eine Breite beilegt, so ist auf jeder der Kegelflächen, die den für die übrigen Puncte mit CK parallel gezogenen Linien entsprechen, nur *eine* gerade Linie mehr, welche als vereinte Wirkung erleidend in Betrachtung kommt. Die Spitzen jener verschiedenen Kegel liegen in KT, welche mit der Breitendimension der Welle einerlei ist, senkrecht auf RCO, und so erhellt, dafs die durch KT gelegte, die Undulation berührende Ebene KTI nun die im Innern fortrückende Welle darstellt.

soll, ist zwar nicht ganz ohne Schwierigkeit, da wir dem Aether, in welchem sich die Undulationen fortpflanzen, eine ungleiche Elasticität nach verschiedenen Richtungen, also eine Eigenschaft beilegen müssen, die bei flüssigen Körpern, so wie wir sie sonst kennen, nicht vorkommen kann; aber dennoch schliefst bis hierher sich diese Theorie an die Gesetze der Bewegung elastisch-flüssiger Körper an und bildet sofern ein System, das nicht durch neue Voraussetzungen zu weit von seiner ursprünglichen Einfachheit abgeht. In Beziehung auf das gewifs rühmliche Bestreben, den einmal angenommenen hypothetischen Voraussetzungen getreu die Theorie zu verfolgen, hatte Poisson ohne Zweifel Recht, wenn er die Umstände der Undulationsbewegung, wie sie unter den bisherigen Voraussezzungen sich ergeben, sorgfältig bestimmte. Diesen Untersuchungen zu Folge gab er es als ein Resultat der Theorie an, dafs jede erheblich weit von ihrem Ursprunge vorgeschrittene Welle, die sich kugelförmig ausbreitet, keine anderen Vibrationen der Theilchen, als solche, die fast genau senkrecht gegen jene Kugelfläche sind, haben könne, dafs daher Fresnel's Quervibrationen, die ich sogleich näher angeben will, sich aus den Gesetzen der Elasticität gar nicht herleiten lassen, und dafs die Annahme solcher Quervibrationen erst durch Auffindung der Kräfte, welche sie hervorbringen, gerechtfertigt werden müsse. Auch in Beziehung auf die sphäroidischen Undulationen in Körpern, wo die Elasticität des Aethers nicht nach allen Richtungen gleich ist, könne dennoch keine Vibration der Theilchen in der Tangente der Welle, sondern nur in der Normallinie statt finden, und so gut sich die Richtung des ungewöhnlich gebrochenen Strahles in allen diesen Fällen erkläre, so ergebe doch die Theorie der Undulationen nichts zur Erklärung derjenigen besondern Beschaffenheit der Lichtstrahlen, die wir Polarisation nennen.

Gegen diese Behauptungen, die Poisson auf eine folgerecht durchgeführte Theorie gegründet hatte, erklärt Fresnel sich nicht ohne Empfindlichkeit [1]. Jene Theorie beruhe auf mathematischen Abstractionen, die weit von der Realität entfernt seyn könnten. Die von Poisson vorausgesetzte Beschaffenheit elastischer Flüssigkeiten, dafs sie aus an einander liegenden Theilchen

1 Ann. de Ch. et Ph. XXIII. 130.

bestehen, die sich nach Verhältniſs des Druckes comprimiren lassen, finde nicht statt, und POISSON's Untersuchungen berechtigten ihn gar nicht, über die Richtigkeit der Undulationstheorie entscheiden zu wollen. Diese empfindlichen Aeuſserungen sind sehr auffallend, wenn man weiſs, daſs die Vertheidiger der Undulationstheorie sich bis dahin es zum Ruhme angerechnet hatten, (und, wenn ich nicht irre, FRESNEL so gut, als irgend ein anderer,) daſs in der Undulationstheorie nichts willkürlich angenommen, sondern alles aus der strengen Theorie der Bewegung elastischer Flüssigkeiten abgeleitet werde. POISSON verdiente gewiſs den gröſsten Dank, daſs er so rein als möglich diese theoretischen Untersuchungen verfolgt hatte, und wenn diese ergeben, daſs man an die Stelle der bisherigen Theorie eine ganz neue setzen müsse, so muſste man dieses offen bekennen und, wie POISSON mit Recht fordert, die Kräfte, welche die nun anzunehmenden Vibrationen bestimmen, angeben.

Allerdings nämlich zeigt sich in allen Phänomenen der Polarisation etwas, das die verschiedenen Seiten des Lichtstrahls von einander wesentlich unterscheidet, und hierüber muſs eine richtige Theorie genügende Auskunft geben. Zu den schon erwähnten Erscheinungen kommt auch noch die, daſs zwei in einerlei Ebene polarisirte Lichtstrahlen genau eben solche Interferenzen geben, wie gewöhnliche Strahlen, hingegen zwei Lichtstrahlen, die in auf einander senkrechten Ebenen polarisirt sind, durchaus keine Interferenzen wahrnehmen lassen. FRESNEL[1] fand sich deshalb bewogen, den polarisirten Strahlen Transversalvibrationen, Vibrationen, die nicht in der Richtung des Strahles, nicht in der Richtung des Radius der Kugelschicht, sondern in der Kugelschicht selbst liegen, beizulegen, eben deswegen aber auch bei unpolarisirten Strahlen eben solche Quervibrationen anzunehmen. Um diese Vibrationen, senkrecht auf die Richtung, nach welcher sie sich fortpflanzen, zu erläutern, hat man sie mit den Wellen eines bewegten Seiles verglichen; diese Wellenbewegung durchläuft die Länge des Seiles von einem Ende bis zum andern und dennoch wird jeder einzelne Punct des Seiles nur in Vibrationen, die senkrecht gegen die Länge sind, fortgeführt; hier also sind solche Quer-

1 Bullet. de la soc. philom. 1822. p. 63. Ann. de Ch. et Phys. XVII. 185.

vibrationen, die sich als erläuterndes Bild noch zu weiterer Vergleichung eignen. Nach FRESNEL's Vorstellung gehen im polarisirten Strahle diese Quervibrationen alle nach einerlei Richtung vor, im unpolarisirten Strahle findet von einem Augenblicke zum andern ein Wechsel dieser Richtung statt. Das Seil würde uns also ein Bild der polarisirten Strahlen geben, wenn wir mit immer gleicher Erschütterung der Theilchen sie unaufhörlich nöthigten, in einer und derselben Ebene ihre Vibrationen zu vollbringen; so bald wir aber von Augenblick zu Augenblick die Richtung der Vibrationen änderten, so daſs sie jetzt horizontal, nun alle verschiedenen Neigungen in regelmäſsiger Folge durchlaufend, ihre Bahnen vollendeten, so hätten wir die dem unpolarisirten Strahle ähnlichen Vibrationen. Der unpolarisirte Strahl kann also angesehen werden als in einem gegebenen Augenblicke in der Richtung der einen Ebene polarisirt, aber so schnell im nächsten Augenblicke zu einer neuen und wieder zu einer neuen Polarisations-Ebene übergehend, sie alle in schneller und unaufhörlicher Folge durchlaufend, daſs keine Polarisation mehr wahrgenommen werden kann, selbst wenn auch nur von einem einzigen Puncte Licht ausginge.

Die Polarisirung besteht also nicht darin, daſs diese Transversalvibrationen erst hervorgebracht werden, sondern in einer Zerlegung dieser Oscillationen nach zwei auf einander senkrechten Richtungen, so daſs nach dieser Zerlegung die oscillatorischen Bewegungen im polarisirten Strahle nur nach *einer* Richtung vollendet werden. Daſs diese Voraussetzung eine Erklärung dafür giebt, warum Strahlen, in Ebenen auf einander senkrecht polarisirt, keine Interferenzen geben, ist einleuchtend.

In den früheren Betrachtungen stellten wir uns vor, dem verdichteten Theile der Welle folge ein verdünnter Theil, und wenn zwei sich unter einem sehr geringen Winkel durchschneidende oder beinahe in gleicher Richtung zusammentreffende Lichtstrahlen mit ihren ungleichen Wellentheilen, Verdichtung des einen mit Verdünnung des andern, zusammenträfen, so fände eine die Wirkung zerstörende Interferenz statt. Eben das können wir noch auf gleich polarisirte Strahlen anwenden; denn was wir hier allenfalls eine Ausweichung rechts und links, immer in derselben Ebene, nennen könnten, das sind dieselben entgegengesetzten Zustände, und wenn in einem zweiten Strahle gleiche Ausweichungen mit denen des ersten zusammenkom-

men, so findet eine Verstärkung statt, bei entgegengesetzten Ausweichungen, wenn das Maximum rechts des einen mit dem Maximum links des andern zusammentrifft, tritt die auslöschende Interferenz ein. Dagegen bei Strahlen, die in Ebenen auf einander senkrecht polarisirt sind, oder die, wie man es kurz nennen kann, eine entgegengesetzte Polarisation haben, kommt so etwas nicht vor; denn es läſst sich zeigen, daſs zwei auf einander senkrechte Vibrationen sich keineswegs zur Ruhe bringen und daher bei entgegengesetzt polarisirten Strahlen dasjenige Zerstören aller Vibration in einem gewissen Puncte gar nicht statt findet, was wir sonst in den Interferenzen beobachten. Bei unpolarisirtem Lichte tritt, so viel ich einsehe, die Interferenz darum ein, weil nach dem Vorbeigehen der ganzen Wellenlänge die seitwärts gehenden Vibrationen wieder zu einerlei Richtung gelangt sind, also die Transversalvibration sich verdoppelt, wenn zwei um eine ganze oder mehrere ganze Wellenlängen verschiedene Lichtstrahlen zusammenkommen, hingegen die Transversalvibrationen, weil sie ihre Richtung nach dem Gesetze der Stetigkeit ändern, in genau entgegengesetzten Richtungen, also zerstörend, zusammentreffen, wenn die Wege der von einerlei Lichtquelle ausgehenden Strahlen um eine halbe oder drei halbe Wellenlängen u. s. w. verschieden sind.

Was die Brechung in krystallisirten Körpern betrifft, so nimmt Fresnel, um die ungleiche Elasticität nach Richtungen mit der Axe des Krystalls parallel und auf sie senkrecht zu erläutern, folgende Vorstellung zu Hülfe. Statt daſs man ein nach allen Richtungen gleich elastisches Medium sich als an einander liegende Kugeln denken kann, müſsten wir uns hier Sphäroide denken, die sämmtlich ihre Axen mit der Axe des Krystalls parallel haben. Diese sphäroidischen Theilchen berühren sich nur in ihren Polen und in Puncten ihrer Aequatore, und es läſst sich daher übersehen, daſs ein in Vibration gesetztes Theilchen nur so auf seine Nachbarn wirken kann, daſs zwei Schichten von Theilchen in Bewegung gesetzt werden, nämlich diejenigen, die nach der Richtung der Axen und nach der Richtung der Aequatorial-Ebenen liegen, und ferner, daſs die Vibrationen sich nur in Ebenen parallel zur Axe und senkrecht auf die Axe fortpflanzen können; jede vibrirende Bewegung, sie mag in welcher Ebene sie will die Oberfläche des so beschaffenen Aethers erreichen, zerlegt sich also in jene zwei auf einander senkrechte vi-

brirende Bewegungen, die sich wegen der nach beiden Richtungen ungleichen Elasticität mit ungleicher Geschwindigkeit fortpflanzen. Die genauern Bestimmungen, die FRESNEL an diese Vorstellung der Entstehung einer polarisirten Vibration knüpft, setzten ihn in Stand, die Erscheinungen bei zweiaxigen Krystallen sehr genau und so zu erklären, dafs er Folgerungen aus seiner Theorie angab, die ihn zu Versuchen leiteten, um diese Folgerungen zu bestätigen, und dafs er jene Folgerungen wirklich bestätigt fand.

Da der Art. *Polarisation* etwas Näheres über diese Theorie enthalten wird, so breche ich diese Andeutungen ab und füge nur noch hinzu, dafs die Farben der dünnen Blättchen, die sie nämlich im polarisirten Strahle zeigen, hier auf Interferenzen zurückgeführt werden, die von dem Unterschiede der von beiden Lichtstrahlen, die bei der Brechung in doppelt brechenden Blättchen entstehen, durchlaufenen Wege abhängen.

Was die genauere Angabe, worauf die Fortpflanzung solcher Transversalvibrationen beruhe, betrifft, so bleibt dabei noch eine grofse Dunkelheit. Dafs die Vergleichung mit den Vibrationen eines Seiles zwar als passende Erläuterung gelten, aber durchaus nicht als mit der Natur der Sache übereinstimmend angesehen werden kann, versteht sich von selbst, denn die Aethertheilchen könnten allenfalls nach *einer* Richtung, aber doch gewifs nicht nach allen Richtungen so zusammenhängen, dafs die Quervibration des einen Theilchens das vorliegende nächste Theilchen in ähnliche Vibration versetzte. Auch wenn man dem Aether mehr die Eigenschaften fester Körper (deren innere Beschaffenheit uns überdiefs auch noch sehr wenig bekannt ist) beilegt oder sich, wie HERSCHEL andeutet, zu der alten Vorstellung von einem durchaus vollen Raume hingezogen fühlt, so scheint sich mir darin nicht viel Aufhellung über die Art der Fortpflanzung solcher Vibrationen darzubieten. FRESNEL hat allerdings einen ganz richtigen Gedanken angegeben, der die Vorstellung von diesen Vibrationen erleichtert, aber der doch nur in gewissen Fällen in der Wirklichkeit Anwendung finden kann. Er sagt nämlich, die in Vibration gesetzten Theilchen brauchten nicht, wie wir es uns bei elastisch-flüssigen Körpern denken, durch einen vermehrten Druck auf die in der Richtung des Strahles vorliegenden zu wirken, sondern wenn die Theilchen in der auf die Richtung des Strahles senkrechten Ebene

eine Verrückung erleiden, so würden auch die in der nächsten senkrechten Ebene eine neue Gleichgewichtsstellung suchen müssen (indem sie doch gewifs durch anziehende und abstofsende Kräfte sich gegenseitig in ihrer Gleichgewichtslage erhalten), diese geriethen also in ähnliche Vibrationen, wie die in der nächst vorigen Ebene, und so pflanze sich, während die Theilchen jeder senkrechten Ebene nur in dieser Ebene hin und her gleiten, dennoch die Erschütterung, die Erregung des Lichtes, in einer auf jene Ebene senkrechten Richtung fort. Wenn man frage, warum denn die Theilchen sich fast nur allein senkrecht auf die Richtung der Fortpflanzung bewegen, so könne man dieses dadurch beantworten, dafs man annehme, die Kraft, welche sich dem gegenseitigen Annähern der Schichten widersetze, sey gröfser als die, welche dem Gleiten in der Ebene einer Schicht widersteht.

Aber zu einer deutlichen Vorstellung führt dieses immer nicht. Wäre nur davon die Rede, warum in krystallisirten Körpern die Polarisation statt finde, so könnte man, da hier eine in allen Fällen fest bestimmte Richtungslinie die Axen der ungleichen Elasticitäten bestimmt, mit der Voraussetzung vielleicht ausreichen, dafs die Leichtigkeit des Ausweichens der Theilchen in bestimmten Richtungen anders und dadurch die Richtung der Vibrationen und ihrer Fortpflanzung bestimmt sey; aber auch im ganz freien Aether sollen wir uns eben solche Transversalvibrationen denken, das heifst, wenn ein Strahl in verticaler Richtung zu uns kommt, sollen wir annehmen, er bestehe aus horizontalen Vibrationen, die kein Hinübertreten der Theilchen aus einer horizontalen Ebene in die andere gestatteten, und wenn ein horizontaler Strahl zu uns kommt, so sollen wir annehmen, hier verschieben sich die Theilchen in einer verticalen Ebene und finden einen gröfsern Widerstand, wenn sie aus einer dieser verticalen Ebenen in die nächste nach horizontaler Richtung übergehen wollen. Es erhellt also deutlich, dafs wir mit dieser Vorstellung nicht ausreichen. Ihr steht auch noch etwas anderes entgegen. So richtig die Behauptung ist, dafs eine geänderte Stellung der Theilchen in einer Ebene nothwendig eine Aenderung der Stellung der Theilchen in der nächsten parallelen Ebene fordert, eben so richtig ist es doch gewifs auch, dafs jene erste Aenderung auch auf die benachbarten Theile in jener Ebene selbst Einflufs haben mufs; warum

pflanzt sich denn die Vibration nicht eben so gut auch in jener Ebene, das heifst, senkrecht auf die Richtung des Lichtstrahls fort? Bei unpolarisirten Strahlen könnte man, da diese während des Vorüberganges einer Wellenlänge Vibrationen nach allen möglichen, auf die Richtung des Strahls senkrechten Richtungen vollenden, in diesem Wechsel den Grund des Unmerklichwerdens suchen; aber bei polarisirten Strahlen findet auch diese Auskunft nicht statt.

Wir müssen uns also für jetzt wohl begnügen, ohne eine vollkommene Einsicht in die Natur dieser Vibrationen, es als eine den Erfahrungen entsprechende Hypothese anzusehen, dafs die in den Lichtstrahlen in Vibration gesetzten Theilchen Vibrationen senkrecht auf die Richtung des Strahles vollenden und dabei den Kreis der verschiedenen Richtungen der Vibrationen während der Fortpflanzung durch den Raum, den wir früher eine Wellenlänge nannten, nach dem Gesetze der Stetigkeit durchlaufen; dafs diese Vibrationen für jeden einzelnen Farbenstrahl zwar denselben Gesetzen folgen, aber so, dafs die Wellenlänge (oder hier besser der Abstand gleicher Vibrationsrichtungen von einander) ungleich ist für jeden Farbenstrahl, und dafs also in einem weifsen Strahle eine unendliche Menge von Vibrationen, deren Gleichheit in Zwischenräumen von 16 bis 26 Milliontel Abstand wiederkehrt und deren Richtung innerhalb dieser Zwischenräume den ganzen Kreis senkrecht auf die Richtung des Strahls durchläuft, enthalten ist. Und wenn diese Vorstellung sehr verwickelt scheinen sollte, so mögen folgende zwei Aeufserungen Herschel's zeigen, wie dieser unparteiische und scharfsinnige Beurtheiler sich hierüber beruhigt. „*We are not to expect Light to be produced without a mechanism adequate to so wonderful an effect....... If the phenomena can be thereby accounted for, i. e. reduced to uniform and general principles, we see no reason, why that, or any still wilder doctrine, should not be admitted, not indeed to all the privileges of a demonstrated fact, but to those of its representative or locum tenens, till the real truth shall be discovered.*"

Um von der strenger theoretischen Begründung der Undulationstheorie, so wie man sie nach den Grundsätzen der Bewegung elastisch-flüssiger Körper behandelt hat, doch etwas mitzutheilen, füge ich dieser mehr populären Erörterung noch einen

Auszug aus POISSON's analytischen Untersuchungen bei[1]. Diese Untersuchungen gehen von den Formeln aus, die für die Fortpflanzung der Vibrationen in allen elastischen Flüssigkeiten gelten, beschränken sich aber auf den Fall, da die Vibrationen sich in einer cylindrischen Röhre fortpflanzen. Da in allen diesen Untersuchungen nur von äufserst kleinen Vibrationen die Rede ist, so erhält man, als Grundlage der ganzen Bestimmung, die beiden Differentialgleichungen:

$$a^2 s + \frac{d\varphi}{dt} = o$$

$$\text{und} \quad \frac{d^2\varphi}{dt^2} = a^2 \frac{d^2\varphi}{dx^2};$$

wo nämlich x die nach der Länge der Röhre gemessene Abscisse, zur Bestimmung der Lage des bewegten Theilchens, t die seit Anfang der Bewegung verflossene Zeit, φ eine Function von x und t bezeichnet, deren in Beziehung auf x genommenes Differential $= v =$ der Geschwindigkeit des Theilchens in der Richtung der Röhre ist, $s =$ der geringen Aenderung der Dichtigkeit, die das Theilchen am Ende der Zeit $= t$ erlitten hat, in Vergleichung gegen die $= 1$ gesetzte Dichtigkeit im anfänglichen Zustande; endlich a eine beständige Gröfse. Die Integration der zweiten Gleichung giebt

$$\varphi = {}'F(x + at) + {}'f(x - at),$$

wo $'F$, $'f$ zwei unbestimmte Functionen bedeuten, also $v = \frac{d\varphi}{dx} = F(x + at) + f(x - at)$, $as = f(x - at) - F(x + at)$.

Dafs diese Functionen aus der im Anfange der Zeit t erregten Störung des Gleichgewichts und aus andern vorausgesetzten Umständen bestimmt werden, ist bekannt; für unsere Betrachtung ist vorzüglich der Schlufs wichtig, dafs aus einer ursprünglichen, auf einen sehr kleinen Raum beschränkten Störung des Gleichgewichts auch nur eine eben solche vorübergehende Störung des Gleichgewichtes in jedem Puncte, nach Verlauf einer bestimmten Zeit, erfolgt. Erstreckte sich nämlich die ganze Störung des Gleichgewichts nur auf den Raum von $x = o$ bis $x = d$ im Anfange der Zeit t und war damals $v = \psi x$ und $s = \Psi x$ der Ausdruck für v und s, so erhellt leicht, dafs

$$v = \tfrac{1}{2}(\psi(x + at) - a\Psi(x + at)) + \tfrac{1}{2}(\psi(x - at) + a\Psi(x - at))$$

---

1 Mém. de l'acad. des Sc. année 1817. Tome II. p. 305.

und

$as = \frac{1}{2}(\psi(x-at) + a\Psi(x-at)) - \frac{1}{2}(\psi(x+at) - a\Psi(x+at))$

wird. Waren nun beide Functionen in allen andern Puncten $= o$, aufser von $x = o$ bis $x = \alpha$, als $t = o$ war, so sind sie zu jeder andern Zeit nur da, wo $x - at > o$ und $x - at < \alpha$ für die eine, und $x + at > o$ und $x + at < \alpha$ ist für die andere, von o verschieden, das heifst, für einen Ort, dessen Entfernung von dem Puncte der erregten Vibration $= x = \alpha \pm at$ ist, fängt am Ende der Zeit $= t$ die Vibration an, und in eben dem Augenblicke endiget sie da, wo $x = \pm at$ ist; a ist also der Raum, durch welchen das Licht sich in der Zeiteinheit fortpflanzt. Die Länge der erregten Vibration bleibt so grofs in der Fortpflanzung, wie sie ursprünglich war, die einzelnen Vibrationen folgen so auf einander, wie an dem Orte, wo sie erregt wurden, und die Farbe der Lichtwelle, die von dieser Wellenlänge und der damit nothwendig verbundenen Zeit zwischen der Ankunft zweier Wellen abhängt, bleibt bei der Fortpflanzung ungeändert. Ferner, diese secundäre Welle, hervorgehend aus der ursprünglich erregten primitiven Welle, giebt nicht zu einer neuen Welle rückwärts (also auch im freien Raume eben so wenig zu einer neuen, nach allen Seiten gehenden Ausbreitung) Veranlassung. Die primitive pflanzt sich, wie aus dem eben Gesagten erhellet, vorwärts und rückwärts fort, und dieses hängt davon ab, dafs die Functionen ψ und Ψ als von einander ganz unabhängig anzusehen sind, das heifst, dafs bei der Erregung der Welle die Geschwindigkeit gar nicht in einer bestimmten Abhängigkeit von der Aenderung der Dichtigkeit steht. Beim Fortgange der Welle dagegen ist in einer Entfernung $x > at$ und $< at + \alpha$,

$$v = \tfrac{1}{2}\psi(x - at) + \tfrac{1}{2}\alpha\Psi(x - at)$$

und $as = v$, weil die Functionen von $x + at$ verschwinden; hier findet daher nothwendig in der fortgepflanzten Welle eine Verdichtung statt, so lange das erschütterte Theilchen vorrückt, eine Verdünnung, während es zurückgeht, und zwar so, dafs s der Geschwindigkeit proportional ist. Für die nach $-x$ fortgepflanzte Welle gilt eben das, nur mufs man das Vorrücken da nach der entgegengesetzten Richtung rechnen. Obgleich also von dem Quell des Lichts Lichtwellen nach allen Richtungen ausgehen, so ist doch keineswegs in jeder fortrückenden Welle eine seitwärts gehende Wellen-Erregung oder rückwärts gehende

Wellen-Erregung vorhanden. Ja wenn man den nicht undenkbaren Fall voraussetzte, dafs bei der primitiven Welle $\psi x = a' \Psi x$ wäre, so würde zwar nach irgend einer Zeit an der positiven Seite $v = \psi(x - at)$, an der negativen Seite aber $v = o$ seyn, weil die Beschränkung der primitiven Welle auf einen sehr kleinen Raum den Werth der Functionen verschwinden macht, wenn die Gröfsen, von welchen sie abhängen, über sehr geringe Werthe hinausgehen und in dem Werthe von v die nicht verschwindenden Functionen sich in dem Falle eines negativen x aufheben.

An die oben angeführten, schon weit früher bekannten Formeln knüpft Poisson eine neue merkwürdige Untersuchung. Da der Aether in einem jeden durchsichtigen Körper eine verschiedene Dichtigkeit hat, so ist die Frage, wie die Fortpflanzung des Lichtes sich verhält, wenn der Lichtstrahl aus einem Medium in ein anderes übergeht, wenigstens für den senkrecht einfallenden Strahl, einerlei mit der Frage, wie die Vibrationen in einer Röhre sich fortpflanzen, wenn diese von $x = o$ bis $x = l$ mit *einem* elastischen Fluidum, von $x = l$ bis $x = l + l'$ mit einem andern elastischen Fluidum gefüllt ist. Das erste Fluidum soll so beschaffen seyn, dafs a der Raum ist, durch welchen sich das Licht in der Zeiteinheit fortpflanzt, statt dafs dieser Raum in dem zweiten Fluidum $= na = a'$ ist. Und hier versteht es sich nun von selbst, dafs die Differentialgleichungen in beiden Abtheilungen der Röhre statt finden, da auch hier angenommen wird, dafs die Erschütterungen alle Theile des ganzen Querschnittes gleichmäfsig treffen und klein genug sind, um die Glieder wegzulassen, die zu Anfang weggelassen worden sind. Bedeuten also v, v' die Geschwindigkeiten, die das durch x gegebene Theilchen am Ende der Zeit $= t$ erlangt, s, s' die Verdichtungen, so ist

$$v = f(x - at) + F(x + at),$$
$$as = f(x - at) - F(x + at),$$
$$v' = f'(x - n.at) + F'(x + n.at),$$
$$nas' = f'(x - n.at) - F'(x + n.at),$$

indem in dem zweiten Flüssigen na statt a vorkommt. Die vier unbestimmten Functionen müssen näher angegeben werden.

Hier leuchtet aber leicht ein, dafs da, wo $x = l$ ist, eine Schicht des einen Flüssigen unmittelbar an der Schicht des anderen anliegt, und v, v' müssen hier genau gleich seyn, also

$$f(l - at) + F(l + at) = f'(l - ant) + F'(l + ant).$$

In eben diesem Puncte muſs die Elasticität beider Flüssigen gleich seyn, und wenn die Dichtigkeit des einen $= D(1+s)$, die des andern $= D'(1+s')$, so wird auch die Elasticität des einen zur Elasticität des andern wie $E(1+s) : E'(1+s')$ seyn, und weil doch an dieser Stelle nothwendig, auch schon im Zustande der Ruhe, eine Gleichheit der Elasticitäten statt finden muſste, also $E + E'$ ist, drückt $\frac{1+s}{1+s'}$ das Verhältniſs der Elasticitäten aus, welches hier $= 1$ seyn muſs. Die beiden Gleichungen für s, s' geben also an dieser Stelle

$$f(l - at) - F(l + at) = \frac{1}{n}f'(l - ant) - \frac{1}{n}F'(l + ant).$$

Diese Gleichung mit der vorigen verbunden giebt:

$$f'(l - ant) = \tfrac{1}{2}(1 + n)f(l - at) + \tfrac{1}{2}(1-n)F(l + at),$$

oder $f'(u) = \frac{1+n}{2}f\left(l - \frac{l}{n} + \frac{u}{n}\right) + \tfrac{1}{2}(1-n)F\left(l + \frac{l}{n} - \frac{u}{n}\right)$

und $F'(l + ant) = \frac{1-n}{2}f(l - at) + \frac{1+n}{2}F(l + at),$

$$F'(u) = \frac{1-n}{2}f\left(l + \frac{l}{n} - \frac{u}{n}\right) + \frac{1+n}{2}F\left(l - \frac{l}{n} + \frac{u}{n}\right),$$

also allgemein für irgend einen Punct in dem zweiten Fluidum

$$v' = \frac{1+n}{2}f\left(l - \frac{l}{n} + \frac{x}{n} - at\right) + \frac{1-n}{2}F\left(l + \frac{l}{n} - \frac{x}{n} + at\right)$$
$$+ \frac{1-n}{2}f\left(l + \frac{l}{n} - \frac{x}{n} - at\right) + \frac{1+n}{2}F\left(l - \frac{l}{n} + \frac{x}{n} + at\right).$$

Um die beiden noch unbestimmten Functionen auszudrücken, dient zuerst die Voraussetzung, daſs für $t = o$ überall Ruhe statt finden, in dem Puncte, wo $x = o$ ist, aber eine Vibration, die durch $v = \varphi t$ gegeben ist, erregt werden soll.

Für $t = o$ ist also in dem ganzen zweiten Fluidum

$$v' = o = f'x + F'x,$$
$$\text{und } nas' = o = f'x - F'x,$$

die Function F' bleibt also, da sie sich immer nur auf eine Gröſse $= x + nat$ bezieht, unaufhörlich $= o$ und ihr vorhin gefundener Werth giebt

$$f(l - at) = \frac{1+n}{n-1}F(l + at),$$

oder

$$f(u) = \frac{1+n}{n-1} F(2l-u),$$

also allgemein

$$v = -\frac{1+n}{1-n} F(2l - x + at) + F(x + at);$$

$$as = -\frac{1+n}{1-n} F(2l - x + at) - F(x + at);$$

$$v' = -\frac{(1+n)^2}{2(1-n)} F(l + \frac{l}{n} - \frac{x}{n} + at)$$

$$+ \frac{1-n}{2} F(l + \frac{l}{n} - \frac{x}{n} + at)$$

$$- \frac{(1+n)}{2} F(l - \frac{l}{n} + \frac{x}{n} + at)$$

$$+ \frac{1+n}{2} F(l - \frac{l}{n} + \frac{x}{n} + at)$$

$$= \frac{2n}{n-1} F(l + \frac{l}{n} - \frac{x}{n} + at)$$

$$= nas'.$$

Es ist nun noch übrig, die Function F zu bestimmen. Nimmt man in dieser Beziehung an, die in der ersten Schicht erregte Vibration daure eine kurze Zeit von $t = o$ bis $t = d$, und für $t = o$ sey noch alles in Ruhe, so müssen die Werthe von $F(2l - x)$ und von $F(x)$ verschwinden für alle Werthe, die $< l$ sind, und dadurch werden in der ersten Flüssigkeit sowohl als in der zweiten alle Werthe von v und $v' = o$. Aber obgleich so Fx verschwindet für alle Werthe von $x = o$ bis $x = 2l$, so verschwindet sie doch nicht für gröſsere Werthe. Es sey φt der Ausdruck für die in dem ersten Querschnitte erregte Vibration, die von $t = o$ bis $t = \vartheta$ dauert, so ist für $x = o$, weil ϑ so klein ist, daſs $a\vartheta$ gewiſs nicht über l hinausgeht,

$$\varphi t = \frac{n+1}{n-1} F(2l + at), \text{ oder}$$

$$Fu = \frac{n-1}{n+1} \varphi\left(\frac{u - 2l}{a}\right), \text{ und folglich allgemein}$$

$$v = \varphi(t - \frac{x}{a}) + \frac{n-1}{n+1} \varphi\left(\frac{x}{a} - \frac{2l}{a} + t\right);$$

$$v' = \frac{2n}{n+1} \varphi\left(t - \frac{x}{an} + \frac{l}{an} - \frac{l}{a}\right).$$

Da der Werth von v zwei Werthe der Function φ enthält, so

erleidet jedes Theilchen in der ersten Röhre eine zweimalige Erschütterung, nämlich so wohl für die Zeit, da $t - \frac{x}{a}$ zwischen o und ϑ ist, als auch für die Zeit, da $t + \frac{x}{a} - \frac{2l}{a}$ zwischen o und ϑ ist; denn nur in diesen Grenzen hat die Function φ Werthe, die von Null verschieden sind. Die erste Vibration, in welche ein Theilchen x geräth, fängt also dann an, wenn die Zeit $t = \frac{x}{a}$, welche das Licht gebraucht, um sich bis dahin fortzupflanzen, verflossen ist; sie dauert eben so lange, als die in der ersten Schicht erregte Vibration, und die dem Theilchen in diesem Zeitverlauf ertheilte Erschütterung ist eben so grofs, oder v erhält eben die Werthe, wie in der ursprünglich erregten Vibration. Die zweite Vibration erreicht dieses in der Entfernung x befindliche Theilchen, wenn $at = l + (l - x)$ ist, das heifst, wenn die Lichtwelle die ganze Länge $= l$ hinwärts und die Länge $l - x$ rückwärts durchlaufen hat, und wenn man $t = \frac{l}{a} + \frac{l - x}{a} + \frac{1}{m}\vartheta$ setzt, so ist die Geschwindigkeit v, die jetzt v_1 heifsen mag, $v_1 = -\frac{1-n}{1+n}\varphi\frac{\vartheta}{m}$, also zurückgehend und in dem Verhältnifs vermindert, welches $(1-n):(1+n)$ ausdrückt. Da wir die Intensität des Lichtstrahles dem Quadrate der Geschwindigkeit v proportional setzen, so verhält sich die Intensität I des einfallenden Strahles zu der Intensität I_1 des an der Trennungsfläche reflectirten Strahles, wie $1 : \frac{(1-n)^2}{(1+n)^2}$.

In der zweiten Flüssigkeit giebt es nur eine Vibration, die so lange dauert, bis die unter φ stehende Gröfse die Werthe von o bis ϑ durchgegangen ist, das heifst, sie fängt an, wenn $t = \frac{l}{a} + \frac{x - l}{an}$ ist, oder wenn das Licht mit der Geschwindigkeit $= a$ den Werth $= l$ und mit der Geschwindigkeit an den Weg $(x - l)$ durchlaufen hat. Der Werth von v' ist $= \frac{2n}{n+1}v$ und die Intensität des in das zweite Fluidum gelangenden Lichts $= \frac{4n^2}{(1+n)^2} I = I'$.

Da hier das Verhältnifs 1 : n das Verhältnifs der Geschwindigkeiten des Lichtes in den beiden Medien, das ist, das Verhältnifs der Sinus des Einfalls- und Brechungswinkels ausdrückt, so würde, wenn der Lichtstrahl aus Luft in Wasser übergeht, ungefähr $n = \frac{3}{4}$ seyn, also die Intensität des vom Wasser reflectirten Strahles $= \frac{1}{49} = 0{,}020$ der Intensität des einfallenden Strahles, welches nahe genug mit Bouguer's Bestimmung $= 0{,}018$ zusammentrifft. Für Glas können wir $n = \frac{5}{8}$ setzen, also die Intensität des reflectirten Strahls am Glase $= 0{,}053$. Bouguer giebt sie nur $= 0{,}025$ an, indefs ist sie bei verschiedenem Glase sehr verschieden [1]. Beim Diamant ist $n = 0{,}404$, also die Intensität des reflectirten Strahls $= 0{,}180$, das ist, zehnmal so grofs, wie beim Wasser. Für Glas ist es der Mühe werth, auch den durchgehenden und den an der zweiten Oberfläche reflectirten Strahl zu berechnen. Für den in das zweite Fluidum eindringenden Strahl hatten wir $v' = \frac{2n}{n+1} . v$, und wenn wir also für ihn annehmen, er erreiche die zweite, mit der erstern parallele Trennungsfläche, wo er wieder in das erste Fluidum austreten soll, so ist für den austretenden Strahl, weil hier $\frac{1}{n}$ statt n gesetzt werden mufs,

$$v'' = \frac{2 . \frac{1}{n}}{\frac{1}{n} + 1} . v' = \frac{4n}{(n+1)^2} v$$

und die Intensität $= \frac{16 n^2}{(1+n)^4} I = I''$. Dagegen ist für den hier zurückgeworfenen Strahl, so lange er in der zweiten Flüssigkeit bleibt,

$$v'_{,} = v' . \frac{1 - \frac{1}{n}}{1 + \frac{1}{n}} = \frac{(n-1)}{(n+1)^2} 2n . v,$$

und, wenn er aus der ersten Oberfläche wieder hervorgeht,

$$v_{,,} = v'_{,} . \frac{2 \frac{1}{n}}{\frac{1}{n} + 1} = \frac{4n . v . (n-1)}{(n+1)^3};$$

1 Wenn man bei Flintglas für rothe Strahlen $n = 0{,}6144$, für violette $= 0{,}5984$ setzt, so ist die Intensität des reflectirten Strahls bei jenen $= 0{,}057$, bei diesen $= 0{,}063$, fast wie $8 : 9$, so dafs also mehr violettes Licht reflectirt wird. Hierin scheint sich also ein Grund zu zeigen, warum so viele trübe Medien (um mit v. Göthe zu reden) das blaue Licht mehr zurückwerfen, das rothe mehr durchlassen.

es ist also die Intensität des von der Hinterfläche zurückgeworfenen Strahls $= I_{\prime\prime} = \frac{16 \cdot n^2(1-n)^2}{(1+n)^6} I$. So erhalten wir für Glas die Intensität des durchgelassenen Strahls $= 0{,}896$, die Intensität des von der zweiten Oberfläche reflectirten Strahls $= 0{,}048$, den letztern also wenig schwächer, als den an der ersten Oberfläche reflectirten Strahl, wie es auch nach einem Experimente von Arago der Fall ist.

Wenn der Lichtstrahl aus Glas in Wasser überginge, so wäre bei der zweiten Reflexion ungefähr $n = \frac{6}{5}$, also $v'_{\prime} = \frac{1}{11} v' = \frac{10}{11 \cdot 13} v$, und $v_{\prime\prime} = \frac{16}{11} \cdot \frac{10}{11 \cdot 13} v = 0{,}086 \cdot v$, und die Intensität des an der Wasserfläche reflectirten Strahls $= 0{,}007$, höchst schwach. Das Quecksilber wirft ungefähr die Hälfte des auffallenden Lichtes zurück und hier müfste $n = \frac{1}{5{,}83} = 0{,}17$ seyn, die Brechung also noch viel stärker, als in irgend einem durchsichtigen Fluidum.

Diese Betrachtung betrifft indefs nur den senkrecht auffallenden Strahl, und obgleich sie keine strenge Entscheidung giebt, ob im stärker brechenden Medium die Geschwindigkeit gröfser oder kleiner ist (weil die Intensität von dem Quadrate des Bruches $\frac{1-n}{1+n}$ abhängt, also für $\left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2$ und $\frac{(1-\frac{1}{n})^2}{(1+\frac{1}{n})^2}$ gleich herauskommt), so scheint sie doch darin der Undulationstheorie eine Stütze zu geben, dafs sie zeigt, dafs die Intensität des reflectirten Lichtes auf eine so bestimmte Weise mit dem Brechungsvermögen zusammenhängen mufs.

Die Gleichung für den zurückgeworfenen Strahl gab $v_{\prime} = \frac{n-1}{n+1} \varphi \frac{\vartheta}{m}$, als die Schnelligkeit der Erschütterung ausdrückend für jede seit dem Anfange der Erschütterung in eben dem Puncte verflossene Zeit, und es ist eben diese Schnelligkeit $v_{\prime} = -a s_{\prime}$, das heifst, wenn in der zuerst in der Röhre fortgepflanzten Erschütterung der verdichtete Theil der Welle voranging und für ihn ein Vorrücken der erschütterten Theilchen statt fand, so ist auch in der reflectirten Welle mit der Verdichtung ein rückwärts Vorrücken verbunden, aber ob der verdichtete Theil der vorangehende ist, hängt davon ab, ob $n > 1$ oder $n < 1$ ist; für

$n > 1$ erhält $v_{,}$ einen positiven Werth, so lange $\varphi \frac{\vartheta}{m}$ einen positiven Werth hat, also wenn in der ursprünglich erregten Welle während der ersten Hälfte der Zeit ϑ die Geschwindigkeit eine vorrückende war, so behält für $n > 1$ die zurückgehende Welle in der ersten Hälfte dieser Zeit eine Erschütterung nach eben der Richtung, das ist nach einer Richtung, die dem jetzigen Gange der Fortpflanzung entgegengesetzt ist. Poisson führt diese Betrachtung nicht an; in ihr aber liegt der Aufschlufs, warum eine halbe Wellenlänge verloren geht, wenn die Reflexion an einem Körper geschieht, in dem das Licht sich schneller fortpflanzt, also da, wo der Lichtstrahl beim Hervortreten aus Glas in Luft reflectirt wird. Herschel glaubt, da wir keine scharf abgeschnittene Grenze zwischen den beiden Medien annehmen dürften, sondern uns eine dünne Uebergangsschicht denken müfsten, so könne dieser Verlust auch wohl mehr oder weniger als eine halbe Wellenlänge betragen, und bei einigen Versuchen von Young scheine es wirklich nicht so streng eine halbe Wellenlänge zu seyn, obgleich bei andern dieses genau statt finde.

Die weitern Untersuchungen Poisson's, deren Hauptresultate ich oben angeführt habe, sind mir noch nicht zu Gesichte gekommen und würden auch wohl hier keinen Platz finden können. Eben so mufs ich in Hinsicht auf die genaue Bestimmung der hervorgehenden Undulation, wenn zwei ungleiche Undulationen sich in verschiedenen Phasen antreffen, auf Herschel und Fresnel verweisen [1].

C. Parrot's Theorie.

Eine dritte Theorie macht noch Anspruch auf eine etwas umständlichere Darstellung, nämlich die von Parrot aufgestellte [2]. Er nimmt einen Lichtstoff an, der sich durch seine chemischen Einwirkungen nicht allein als wirklich materiell, sondern auch als vom Wärmestoff verschieden zeigt, da beide zwar in manchen Hinsichten gleiche, in andern dagegen wesentlich verschiedene Wirkungen hervorbringen. Als Beweise für

---

1 On Light. §. 609—628. Mém. de l'Acad. de l'inst. de France. V. 376.

2 Grundrifs der theoret. Phys. von G. F. Parrot. Bd. II. S. 221.

diese Affinitäten des Lichtstoffes oder vielmehr nicht *eines* Lichtstoffes, sondern einer Anzahl verschiedener Farbenstoffe, deren Zusammensetzung das weifse Licht erzeugt, werden die verschiedenen chemischen Einwirkungen angeführt und dann bemerkt, dafs wir bei der Erklärung der Lichtphänomene überall die chemischen Ansichten zum Grunde legen müssen. Ueber den Aggregatzustand des Lichts giebt PARROT gar keine Entscheidung. „Wir können die Lichtstoffe weder als feste Körper in einzelnen Theilchen betrachten, noch als eine Flüssigkeit." Ihre Feinheit erlaubt uns nicht, die Begriffe, die nur auf gröbere Flüssigkeiten passen, hier anzuwenden, und manche Phänomene werden daher nie aufgehellt werden, z. B. die Frage, was in mechanischer Rücksicht gaschieht, wenn mehrere Lichtstrahlen sich durchkreuzen.

Als einen directen Beweis, dafs die Brechung des Lichtes durch Anziehung statt findet, giebt PARROT folgenden allerdings höchst interessanten Versuch an. Man nehme ein Gefäfs, das an zwei Seiten vollkommen parallele, reine Glasplatten als verticale Seiten hat und senkrecht auf diese etwa 20 Lin. weit ist; dieses fülle man bis zu einer mäfsigen Höhe mit Salzwasser, darüber aber giefse man mit möglichst weniger Mischung beider Flüssigkeiten reines Wasser. Nun stelle man genau neben die Trennnngsfläche beider Flüssigkeiten eine mit einer schmalen Oeffnung durchbrochene Metallplatte, deren etwa $\frac{1}{4}$ Lin. weiter Spalt horizontal, der Glaswand des Gefäfses parallel gestellt ist. Nachdem dieses so vorgerichtet worden, lasse man den Strahl einer recht hellen Argand'schen Lampe durch den Spalt auf die Flüssigkeit, senkrecht auf die Seiten des Gefäfses in genau horizontaler Richtung fallen, so wird der Lichtstrahl, der an der Trennungsfläche beider Flüssigkeiten vorbeigehen sollte, gebrochen und zeigt ein prismatisches Spectrum, worin das Violett, wie natürlich, am meisten gebrochen ist. Bei PARROT's Versuch war die Flamme $3\frac{1}{2}$ Zoll von dem Spalt und dieser 1 Zoll von der Wand des Gefäfses entfernt.

PARROT sagt, dieser Versuch sey ein *experimentum crucis*, dafs die Brechung und Farbenzerstreuung durch Anziehung geschehe. So bestimmt möchte ich dieses nun nicht ausdrücken, weil nicht im allerstrengsten Sinne einzig solche Lichtstrahlen an die Trennungsfläche der Flüssigkeiten kommen, deren Richtung mit diesen Oberflächen parallel ist. Wenn ich auch an-

nehme, dafs die Dicke der Wände des Spaltes nicht gestattet, dafs Lichtstrahlen von allen Theilen der Flamme auf die Flüssigkeit fallen, so ist es doch nicht zu vermeiden, dafs von ec so gut, als von cd Strahlen durch den Spalt gehen, und wenn ich also, wie in PARROT's Versuche, ab = $\frac{1}{10}$ Zoll, bd = $3\frac{1}{2}$ Zoll setze und ce auch nur = $\frac{1}{10}$ Zoll annehme, so kommen schon Strahlen unter einem Neigungswinkel = 25′ auf die Trennungsfläche, und dieses ist genug, um die Beweiskraft des Versuchs zu stören. Aber ich bin überzeugt, dafs auch, wenn man durch einen doppelten Schirm, dessen Spalten nur einen genau horizontalen Strahl durchliefsen, diesem Einwurfe abhelfen wollte, der Versuch gelingen würde, und dennoch gäbe er keinen Beweis gegen die Undulationstheorie. Es träte nämlich dann der Fall ein, dafs die Fortpflanzung der Lichtschwingungen in einem Fluidum fortginge, dessen horizontale Schichten eine unveränderliche Dichtigkeit, die verticalen eine ungleiche Dichtigkeit hätten, und die Lichtwellen, die als kleine Bogen von Kugelschichten ankämen (so fern wir jeden einzelnen Punct des Spaltes betrachten), würden hier eine elliptische Form annehmen, weil ihre Geschwindigkeit in dem stärker brechenden Mittel geringer, als in dem andern ist; die Strahlen werden also gebrochen, und da der Weg von $1\frac{1}{2}$ Zoll schon viele Tausende von Wellenlängen enthält, so ist er lang genug, um die ganze Einwirkung dieser Aenderung im vollen Mafse sichtbar werden zu lassen. Dieser Versuch bleibt darum dennoch ein merkwürdiger Versuch; aber er kann nicht als Widerlegung der Undulationstheorie angesehn werden.

Fig. 40.

Die Reflexion des Lichtes sieht PARROT als ganz nach den Gesetzen der Bewegung elastischer Körper hervorgehend an. Die Lichtstoffe, indem sie mit grofser Geschwindigkeit auf einen Körper stofsen, prallen, gleich der Billardkugel, zurück, die an der Spiegelfläche anliegenden Luftschichten haben zwar wegen der Erwärmung, welche die festen Körper annehmen, eine etwas veränderte Dichtigkeit, und darum gehen die Lichtstrahlen hier nicht im strengsten Sinne geradlinig gegen den Spiegel zu und von ihm ab, aber dieses gleicht sich aus, da es für den herankommenden und den zurückgeworfenen Strahl gleich ist. Die Reflexion an der hinteren Fläche durchsichtiger Körper, nämlich an derjenigen, wo der Uebergang in die Luft statt finden sollte, hält PARROT nicht für ein Phänomen, das besondere

Erklärung bedarf, indem es bloſs als Refraction anzusehn sey. Hierin scheint aber Parrot doch der Refraction zu viel zuzuschreiben, denn wenn gleich die totale Reflexion, als der Refraction angehörig, nur da entsteht, wo die Brechungsgesetze kein Hervortreten des Lichtstrahls gestatten, so giebt es doch eine theilweise Reflexion des Strahls bei allen möglichen Einfallswinkeln an der Hinterfläche, und diese hätte wohl eine eigne Erklärung gefordert.

Die Refraction sieht Parrot als ein Affinitätsphänomen an, und da sich zeigen läſst, daſs das Licht sich nicht nach bestimmten Affinitäten zu den Bestandtheilen der Körper richtet, so ist man genöthigt, einen andern, unbekannten Stoff, einen Aether, in den durchsichtigen Körpern anzunehmen. Dieser hat eine Affinität zu den Lichtstoffen, und zwar für jede Farbe in einem andern Verhältnisse, zugleich aber hat er eine Affinität zu den durchsichtigen Körpern, gleichfalls in verschiedenen Verhältnissen, und davon hängt die verschiedene Brechung in verschiedenen Körpern ab. Denkt man sich diesen Aether in allen durchsichtigen Körpern verbreitet, so muſs der sich nähernde Lichtstrahl von dem Aether angezogen werden und die Aenderung der Richtung bei der Brechung erfolgen. Für die Annahme eines solchen Stoffes sprechen, nach Parrot's Ansicht, die Erscheinungen, wo undurchsichtige Körper durch Feuchtigkeiten durchsichtig werden; Papier durch Wasser u. s. w. In dieser Hypothese, daſs ein Aether die Körper durchdringt und daſs dieser gleichsam der Führer des Lichtes durch die labyrinthischen Gewebe der Körper ist, liegt eine Auflösung der sonst unüberwindlichen Schwierigkeit des Durchgangs des Lichtes durch die durchsichtigen Körper. In eben dieser Annahme eines Aethers findet Parrot auch die Ursache der ungeheuern Geschwindigkeit des Lichtes. Nach seiner Ansicht von der Wanderung der Stoffe bei chemischen Verbindungen findet nämlich da eine Schnelligkeit statt, die alle durch mechanische Mittel hervorgebrachten Geschwindigkeiten weit übersteigt, und wenn der Lichtstrahl diese in dem den andern Substanzen beigemischten Aether erhalten hat, so dauert sie auch nachher im leeren Raume fort.

Die theoretischen Betrachtungen, wodurch Parrot die Beugung des Lichtes und die Newton'schen Farbenringe auf die Reflexion und Refraction zurückzuführen sucht, können hier

nicht Platz finden. Als Parrot's Lehrbuch erschien, waren die Phänomene der Beugung, der Interferenzen u. s. w. noch gar nicht so genau bekannt, und jene Betrachtungen bedürften jetzt zahlreicher Ergänzungen, wenn sie alle Phänomene umfassen sollten. Die Ercheinungen der doppelten Strahlenbrechung und die damals noch wenig bekannten Erscheinungen der Polarisation hat Parrot gar nicht erklärt. Seit jener Zeit hat die Lehre vom Lichte so unendlich bedeutende Bereicherungen erhalten, dafs man mit dem, was damals als scharfsinnig den Beobachtungen angepafst erschien, jetzt nicht mehr ausreicht, und ich darf daher wohl gestehen, dafs ich die Hoffnung nicht hege, dafs aus dieser Theorie eine mit strenger Genauigkeit den verwickelten Erscheinungen des Lichtes entsprechende Erklärung hervorgehen könne.

2. Beurtheilung der Theorieen in Beziehung auf die Entstehung des Lichts.

Die Schwierigkeiten, die sich der Beantwortung der Frage, welche Theorie des Lichtes die richtige sey, schon bei der Betrachtung der optischen Phänomene entgegenstellten, finden sich nicht geringer, wenn wir die Entstehung der Licht-Erscheinungen untersuchen. Ich habe im Vorigen die Meinung, dafs das Licht gar nicht materiell, sondern eine blofse Kraft sey, nicht erwähnt; aber diese Meinung, die mir auf undeutlichen Vorstellungen zu beruhen scheint, kann auch wohl keinem Naturforscher gefallen, da, so viel ich einsehe, die Kräfte doch nirgends wirksam seyn können, wo nicht Materie (so dunkel auch der Begriff der Materie seyn mag) vorhanden ist. Doch ich stehe gern davon ab, in irgend eine Aeufserung, die das Gebiet der eigentlich sogenannten Philosophie berührt, weiter einzugehen; das aber scheint mir klar, dafs da, wo eine körperliche Einwirkung, so wie bei den chemischen Erscheinungen, welche das Licht hervorbringt, bemerkbar ist, auch dem Lichte eben so gut, wie dem Sauerstoff oder dem Platin, Materialität mufs zugeschrieben werden.

Ob diese Materie des Lichtes nun als ein von den leuchtenden Körpern ausgehender Stoff anzusehen sey, oder ob er, als Aether schon in den Körpern vorhanden, in anders modificirte Zustände geräth bei den Erscheinungen des Leuchtens, und ob er auf jene oder auf diese Weise die Wirkungen hervorbringt,

die wir Wirkungen des Lichtes nennen, das scheint die erste Frage zu seyn, auf deren Entscheidung man denken müſste; daran würde sich dann die zweite Frage knüpfen, ob ein nachzuweisendes Verhältniſs zwischen dieser Lichtmaterie und der Materie der Wärme, der Elektricität u. s. w. vorhanden ist, ob sie ihrem Wesen nach einerlei sind, oder ob der Wärmestoff durch das Licht in einen andern Zustand versetzt werde u. s. w. Diese letzten Fragen, die in dem Artikel *Wärme* noch einmal aufgeworfen werden müssen, darf ich wohl ganz jenem Artikel vorbehalten lassen, um so mehr, da ich es nicht verhehle, daſs ich mir nicht getraue, etwas Entscheidendes über diesen Gegenstand zu sagen. Auch die Verbindung, in welcher das Licht mit der Elektricität steht, und die so oft behauptete und wieder bezweifelte magnetische Einwirkung des Lichtes darf ich wohl, als noch viel zu wenig richtig erkannt, übergehen.

In der Entstehung der Licht-Erscheinungen hat man bald für die eine, bald für die andere der beiden wichtigsten Theorieen Beweise finden wollen. Die Erscheinungen des Verbrennens gehen allerdings so hervor, daſs man dabei wohl an einen sich ausscheidenden Lichtstoff, der mit dem Wärmestoff in sehr naher Verbindung stehe, fast immer mit ihm zugleich hervorgehen müſste, denken kann. Wie dieser Stoff, der nach seinem Freiwerden mit so groſser, fast unendlich zu nennender Geschwindigkeit im Raume fortgeht, vorher so fest gebunden seyn, durch so groſse Kräfte, die dieses Bestreben hinderten, gefesselt seyn konnte, das läſst sich allerdings nicht beantworten; aber auf ähnliche Schwierigkeiten treffen wir in allen den Lehren, die über die Mechanik fester und flüssiger Körper hinausgehen. Eben so wenig begreifen wir, wo denn das von den Körpern absorbirte Licht bleibt, ob es sich mit der Substanz der Körper verbindet, sehr oft ohne in ihren uns kenntlich werdenden chemischen und physischen Eigenschaften Aenderungen hervorzubringen. Die letzte Schwierigkeit ist geringer in der Undulationstheorie, indem man da mit gutem Rechte sagen kann, daſs die Undulationen an der Oberfläche der Körper zwar eine neue, zurückgehende Undulation erregen, die aber schwächer als die ursprüngliche ist, und daſs die in das Innere des Körpers eindringenden Oscillationen bei den undurchsichtigen Körpern Hindernisse finden, die ihr tieferes Eindringen zerstören, offenbar aber dann in den meisten Fällen auch nach ihrem Erlöschen

gar keine Spur mehr übrig lassen. In den einzelnen Fällen, wo eine chemische Veränderung vorgeht, liefse sich diese dadurch erklären, dafs die Verbindung der gröber materiellen Stoffe ja wohl so beschaffen seyn kann, dafs sie bei den wechselnden Verdichtungen und Verdünnungen des Aethers eine Aenderung erleidet, und diese Vorstellung erhielte dann durch die Versuche [1], welche zeigen, dafs die Interferenzen auch die chemischen Wirkungen aufheben, eine wichtige Bestätigung.

Diejenige Licht-Erscheinung, die am ehesten geeignet scheint, uns über die Natur des Lichtes Aufschlufs zu geben, ist die Phosphorescenz durch Bestrahlung. Man kann sie zum Vortheil der Emanationstheorie auslegen, indem man es so ansieht, als ob hier gerade, wenigstens in einzelnen Fällen, sich deutlich zeige, dafs der Einwurf von dem Anhäufen des Lichtstoffes in den bestrahlten Körpern ohne Grund sey. Wir wollten wissen, was aus dem Lichtstoffe werde, den die durchsichtigen und undurchsichtigen Körper in sich aufnehmen; hier sehen wir den Lichtstoff so deutlich wieder ausströmen, dafs er dem Auge viele Stunden lang sichtbar wird, und da unser Auge, nach Verschiedenheit seiner Zustände, das matte Phosphoresciren, selbst wenn es statt findet, nicht immer bemerkt, so bleibt uns unbenommen, ein Ausströmen von Licht in äufserst schwachem Grade auch da anzunehmen, wo unser Auge es nicht mehr bemerkt. Dadurch ist zwar jenem Einwurfe seine ganze Kraft nicht genommen, indem von vielem absorbirten Lichte nur geringe, ja meistens unbedeutende Spuren wieder hervorgehen, aber wenigstens zeigt sich uns doch hier ein Hervorgehen des Lichtstoffes.

Dieses Hervorgehen des empfangenen Lichtstoffes wird begünstigt durch die Wärme. Leuchtsteine, die kalt nicht mehr leuchten, geben erwärmt immer noch Licht her, bis endlich eine gänzliche Erschöpfung eintritt; ja selbst das bessere Phosphoresciren nach der Bestrahlung mit blauem, als mit rothem Lichte schliefst sich der Erfahrung an, dafs Erwärmung während der Bestrahlung die nachherige Phosphorescenz vermindert, oder das Aufnehmen des Lichtes während des Bestrahlens hindert. Hieran reihet sich dann auch das Glühen, obgleich es von der Phosphorescenz durch Erwärmung sich zu unterscheiden scheint; starke Erhöhung treibt den Lichtstoff so reichlich aus, wie wir

1 Vergl. Art. *Interferenz*. Bd. V. S. 786.

es im Glühen sehen. Man kann fragen, ob unendlich reichlich oder in begrenztem Maſse? Aber diesen Behauptungen, die man, bei etwas mehr Neigung für Hypothesen, leicht noch besser ausschmücken könnte, stehen groſse Einwürfe entgegen. Vorzüglich hat von Grotthuss auf den Einwurf aufmerksam gemacht, daſs dann Bestrahlung mit blauem Lichte nothwendig eine blaue Phosphorescenz hervorbringen und so jede besondere Farbe ihre Eigenthümlichkeit behalten müsse. Osann's Bemerkung, daſs die weiſse Phosphorescenz nach Bestrahlung mit farbigem Lichte von dem allemal noch übrigen Antheile anderer Farben im auffallenden Lichtstrahle herrühre, ist offenbar ungenügend, da erstlich dieser Antheil geringe ist, und zweitens alsdann gar nicht erhellte, warum die blauen Strahlen wirksamer als die rothen, denen doch auch andersfarbige Strahlen beigemischt seyn werden, seyn sollten. Will man hier die Emissionstheorie vertheidigen, so könnte man versuchen, den Gedanken durchzuführen, daſs die verschiedenfarbigen Lichttheilchen nicht ihrem Wesen nach, sondern nur ihrem Zustande nach verschieden wären. Sollte nämlich eine wahrhaft abwechselnde Beschaffenheit, auf die Art, wie die Anwandlungen sie andeuten, bei den Lichttheilchen statt finden, so könnten die ihrem Wesen nach gleichen Theilchen vielleicht gleich gut fähig seyn, diese Verschiedenheiten in schnellern oder in langsamern Perioden abwechselnd anzunehmen, eben dadurch aber uns die Empfindung des Violett bei kürzern Anwandlungsperioden, die Empfindung des Roth bei längern Anwandlungsperioden u. s. w. zu verschaffen; es könnte Fälle geben, wo die einmal eingetretene Periode sich dauernd erhielte und also die Farbe immer fort erschiene, welche dieser Periode gemäſs ist, und andere Fälle (also namentlich bei dieser Phosphorescenz), wo die Theilchen, die mit bestimmten Anwandlungsperioden ankamen, beim Ausströmen alle die Anwandlungsperioden angenommen hätten, die sich uns in den verschiedenen Farben zeigen. Aber es wäre thöricht, einen Gedanken weiter zu verfolgen, dem man leicht eine ganze Reihe eben so gut ausgesonnener Hypothesen an die Seite setzen könnte [1].

Einen andern Einwurf, den v. Grotthuss gegen die Emis-

---

1 Eine Hypothese, die der oben angedeuteten ähnlich ist, spricht v. Grotthuss aus. Schweigg. Journ. XIV. 162. 165.

sionstheorie macht, kann ich hier nicht übergehn [1]. Man kann, wie im Art. *Farbe* erwähnt ist, ein Weiſs durch zwei auf einander fallende prismatische Farbenspectra darstellen, wenn man Orange des einen und Blau des andern zusammenfallen läſst; dieses Weiſs enthält also kein Roth in seiner Mischung und gleichwohl erscheint scharlachfarbenes Tuch hier roth, so daſs die rothen Strahlen im weiſsen Lichte nicht vorzukommen brauchen, um dem Auge eine rothe Erleuchtung zu zeigen.

Diese und ähnliche Einwürfe treffen indeſs auch die Undulationstheorie, nach welcher doch die antreffenden kürzern Wellen auch wieder kürzere Wellen im zurückgeworfenen Strahle geben sollen, also nicht erhellt, wie aus den Wellen, die dem Orange und dem Blau angehören, die längern Wellen des Roth entspringen sollen.

Daſs die Phänomene der Phosphorescenz durch Bestrahlung sich auch nach der Undulationstheorie erklären lassen, ist wohl nicht zu leugnen. Wenn der den Diamant oder den Leuchtstein treffende Lichtstrahl diesen in eine Art von nachklingender Vibration setzt, so werden diese Vibrationen, so lange sie dauern, den umgebenden Aether in Bewegung setzen und dem Auge Licht-Erscheinungen darstellen. Warum ein Körper geeigneter als der andere ist, diese Vibrationen lange dauernd, viele Tage lang dauernd, hervorzubringen, warum die Wärme die schon schwach werdenden Vibrationen neu anregt, warum die Vibrationen des blauen und violetten Strahls vorzüglich wirksam hierbei sind, warum die Vibrationen einer Art im einfarbigen Lichte gleichwohl Vibrationen aller Arten bei der weiſsen Phosphorescenz hervorbringen? das alles bleibt aber doch auch hier unerklärt.

Und eben so wenig scheint mir aus den bei andern Phosphorescenzen beobachteten einzelnen Erscheinungen irgend eine deutliche Entscheidung für die eine oder andere Theorie hervorzugehen. Der bestimmte Zustand der Pflanzenkörper und der thierischen Körper, bei welchem sie leuchtend werden, ist selbst in Hinsicht auf die unserer Untersuchung näher liegenden Umstände, in Hinsicht auf die kleinen, aber gewiſs statt findenden chemischen Veränderungen, noch nicht genug untersucht, und selbst wenn wir darüber Aufschlüsse erhalten sollten, so ist

---

1 Schweigg. Journ. XIV. 171.

kaum zu glauben, dafs wir so leicht in Stand gesetzt werden, zu beurtheilen, warum gerade dann entweder Lichtstoff ausströmt, oder die Vibration, die wir im Leuchten wahrnehmen, entsteht.

Die verschiedenen Ansichten der Naturforscher, nach welchen Elektricität mit Licht einerlei seyn, das Sonnenlicht in seine elektrischen Grundprincipien, positive und negative Elektricität, zerlegt werden soll [1], oder Licht mit Wärme einerlei seyn, durch die Bewegung des Wärmestoffs entstehn soll [2], scheinen mir hier keine weitere Erörterung zu bedürfen, da die wichtigen Phänomene, welche eine Verbindung zwischen Licht und Wärme zeigen, im Artikel *Wärme* vorkommen werden.

Das Endresultat aller dieser Betrachtungen scheint also allerdings ziemlich niederschlagend zu seyn, nämlich, dafs wir über die Natur des Lichtes noch sehr wenig unterrichtet sind. Die grofsen Fortschritte, welche die Optik in den letzten dreifsig Jahren gemacht hat, haben dazu gedient, die stolze Meinung, dafs wir die Natur des Lichtes kennten, zu erschüttern; sie haben uns erst den bewundernswürdigen Reichthum von Erscheinungen kennen gelehrt und uns mit den bis dahin unbekannten Schwierigkeiten, die zu überwinden sind, bekannt gemacht, und wir dürfen uns nicht wundern, dafs sie uns nicht zugleich auch alle Mittel, diese Schwierigkeiten wirklich zu überwinden, dargeboten haben. Befinden wir uns auch jetzt nur noch in dem Zeitpuncte, wo es nur gelungen ist, gewisse Reihen von Erscheinungen in ihrer gegenseitigen Beziehung zu übersehen, während wir die Abhängigkeit anderer, offenbar verwandter, Erscheinungen noch nicht begreifen, so wird doch Niemand leugnen, dafs unsere jetzige offen eingestandene Unwissenheit einen viel weiter vorgerückten Zustand der Wissenschaft bezeichnet, als die einer geringen Anzahl von Phänomenen angepafsten Theorieen, mit denen man in einer frühern Periode zufrieden seyn zu dürfen glaubte. *B.*

L i n s e n g l a s.

Dioptrische Linse; *Lens dioptrica;* Lentille sphérique, verre dioptrique; *Lens.* Gläser, deren beide

1 Nach v. Grotthuss in Schweigg. Journ. XIV. 142.
2 G. XX. 305.

Oberflächen Kugelabschnitte sind, begrenzt durch Kreise, deren Ebenen senkrecht stehen auf der durch die Mittelpuncte beider Kugeln gezogenen Linie.

Diese Gläser haben verschiedene Namen, je nachdem die hohlen oder convexen Seiten der Kugel nach Aufsen gekehrt sind. Die Figuren 41 bis 46 stellen diese verschiedenen Gläser im Durchschnitte vor, so dafs die Gestalt der Gläser selbst entstände, wenn die gezeichnete Figur sich um ihre Axe drehte. Fig. 41. ist ein convex-convexes, an beiden Seiten erhabenes Glas (*Lens utrimque convexa;* verre doublement convexe; *double convex lens*); Fig. 42. ein plan-convexes Glas, erhaben an der einen, eben an der andern Seite (*Lens plano-convexa;* verre planconvexe; *planoconvex lens*); Fig. 43. der Meniscus (*Meniscus, Lunula;* Ménisque; *Meniscus*), ein Glas, dessen eine Oberfläche convex, die andere concav ist, aber so, dafs der Halbmesser der erhabenen Seite der kleinere ist. Diese Arten von Gläsern, welche alle als Vergröfserungsgläser oder Brenngläser dienen können, werden unter dem Namen convexer Gläser zusammengefafst. Nur die beiden ersten Arten verdienen den Namen Linsengläser im eigentlichen Sinne. Fig. 44. stellt vor ein concav-concaves, an beiden Seiten hohles Glas (*lens concavo-concava;* Lentille doublement concave; *double concave lens*); Fig. 45. ein plan-concaves Glas, ein Glas, das an einer Seite eben, an der andern hohl ist (*lens plano-concava*); Fig. 46. ein convex-concaves Glas, wo die eine Seite hohl, die andere erhaben, der Halbmesser der convexen Seite aber der gröfsere ist (*lens convexo-concava*). Diese Gläser heifsen Hohlgläser, hohle Linsen, und haben die gemeinschaftliche Eigenschaft, in der Mitte weniger dick, als an den Rändern zu seyn. Sie dienen als Lorgnette für Kurzsichtige, während die Convexgläser den Fernsichtigen als Brillen für nahe Gegenstände dienen [1].

Fig. 41. bis 46.

Bei allen diesen Gläsern mufs die Axe, das ist, die Linie durch die Mittelpuncte beider Kugel-Oberflächen zugleich durch die Mitte der Linse gehen, so dafs um diese Mitte beide Oberflächen einander parallel und gegen diese Axe senkrecht sind. Derjenige Lichtstrahl, welcher in der Axe selbst auf das Glas fällt, geht völlig ungebrochen durch; diejenigen Strahlen, welche den Mittelpunct der Linse schief auffallend treffen, wer-

---

1 Vergl. *Brillen*. Bd. IV. S. 1403.

den zwar gebrochen, aber bei geringer Dicke des Glases kann man den an der andern Seite hervorgehenden, fast mit dem auffallenden Strahle parallelen Strahl als gerade durchgehend und also so gut wie ungebrochen ansehen; bei dickeren Gläsern weicht diese Ansicht merklich von der Wahrheit ab.

Da die *Brechung der Lichtstrahlen*[1] sich nach dem Sinus des Einfallswinkels richtet, so findet sich eine größsere Schwierigkeit in allen Bestimmungen, wenn man auf Strahlen, die weit von der Axe einfallen, Rücksicht nimmt; ich betrachte deshalb die Fälle zuerst, wo diese Entfernung so klein ist, dafs man bei diesen Strahlen die Bogen mit den Sinus der Bogen ohne erheblichen Fehler verwechseln kann.

Betrachtung der Fälle, wo die Linsen klein sind, oder nur Strahlen berücksichtigt werden, die nahe bei der Mitte der Linse auffallen.

Es sey C der Mittelpunct der Kugel-Oberfläche BD, auf welche die von dem Puncte A ausgehenden Lichtstrahlen treffen, so geht der gegen den Mittelpunct C gerichtete Lichtstrahl ungebrochen durch, jeder andere aber AD wird so gebrochen, dafs der Sinus des Einfallswinkels ADG zum Sinus des Brechungswinkels CDH ein constantes Verhältnifs $1 : \mu$ hat. Bei Strahlen, die der Axe nahe einfallen, kann man das Verhältnifs der Bogen statt des Verhältnisses der Sinus setzen und daher auch die Seiten der hier vorkommenden Dreiecke als den ihnen gegenüberliegenden spitzen Winkeln (statt der Sinus derselben) proportional ansehen. Fig. 47.

Es sey $CB = r$ der Halbmesser der Vorderfläche des Glases, $AB = b$ die Entfernung des leuchtenden Punctes A, dessen Strahlen auf das Linsenglas fallen; $BCD = \varphi$ die Entfernung des Punctes, wo der Lichtstrahl das Glas trifft, von der Axe, so ist $ADG = CDE = \frac{b+r}{b}\varphi$, weil hier AD als $\doteq AB$ angesehen werden kann; der Strahl wird nach der Richtung DH

1 Vergl. Art. *Brechbarkeit.* Bd. I. S. 1127.

gebrochen und es ist $CDH = \mu . CDE = \mu\varphi . \frac{b+r}{b}$; der Lichtstrahl würde daher die Axe in H treffen, wo $BH = \frac{b.r}{b-\mu(b+r)}$ ist, indem BH und DH hier als gleich angesehen werden können und $DH : CD = \varphi : \varphi - \frac{b+r}{b}\mu\varphi$

$$= BCD : BHD$$

ist. Nennt man also $BH = g$, so ist $g = \frac{b.r}{b-\mu(b+r)}$ oder, leichter zu übersehen, $\frac{1}{g} = \frac{1-\mu}{r} - \frac{\mu}{b}$.

Durch diese Formel wird der Abstand g des Vereinigungspunctes H, wo der gebrochene Strahl die Axe schneidet, von der Vorderfläche des Glases angegeben, und g ist positiv, das heifst, der Vereinigungspunct H liegt, so wie es der hier gezeichnete Normalfall annimmt, jenseit des Mittelpunctes, wenn $b > \frac{\mu r}{1-\mu}$ ist, im entgegengesetzten Falle würden die gebrochenen Strahlen nicht gegen die Axe convergiren, sondern divergirend aus dem Glase hervorgehen. Der Punct H hängt bei so kleinen Abständen von der Axe nicht von dem Winkel φ ab, also ist er für alle zwischen B und D auffallenden Strahlen einer und derselbe, und alle nicht erheblich weit von B auffallende Strahlen vereinigen sich in demselben, wenn er jenseit des Mittelpunctes liegt, oder alle solche Strahlen würden, als von einem und demselben Puncte ausgehend, divergirend erscheinen, wenn g negativ wäre. Wenn b sehr grofs wird, so ist $g' = \frac{r}{1-\mu}$, also allemal positiv, wenn $\mu < 1$ ist, wie dieses beim Glase und andern dichteren Körpern statt findet.

Bei den Linsengläsern ist niemals die Masse des Glases so ausgedehnt, dafs der Punct H, wo die Strahlen sich vereinigen sollten, noch innerhalb des Glases läge, sondern der Strahl DH dringt bei L aus der Oberfläche ML des Glases hervor und leidet hier eine zweite Brechung. Da auch diese Oberfläche ML eine Kugelfläche ist, deren Mittelpunct in K liegt, deren Halbmesser ich $= \varrho$ setze, und da wir hier das Glas als so dünn ansehen, dafs $ML = BD$ gesetzt werden kann, so ist der Win-

kel MKL $= \frac{ML}{\varrho} = \frac{BD}{\varrho} = \frac{r\varphi}{\varrho}$; LO ist der verlängerte Radius, also OLH dem Einfallswinkel gleich, der Brechungswinkel OLN aber ist, wenn der Lichtstrahl nach LN fortgeht, nach den bekannten Brechungsgesetzen $= \frac{1}{\mu}$OLH, weil der Strahl hier wieder in eben das Medium übergeht, aus welchem er bei D in das Glas eingetreten war. Da NLH $= \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)$OLH und OLH = LHK + HKL $= \frac{r\varphi}{g} + \frac{r\varphi}{\varrho}$ ist, so ergiebt die Proportion

$$KN : LN = NLO : HKL,$$

wenn ich LN = MN = f setze,

$$f + \varrho : f = \frac{1}{\mu} OLH : \frac{r\varphi}{\varrho},$$

$$f + \varrho : f = \frac{r\varphi}{\mu}\left(\frac{1}{g} + \frac{1}{\varrho}\right) : \frac{r\varphi}{\varrho},$$

also

$$f = \frac{\mu g \varrho}{\varrho + g(1-\mu)} \text{ oder}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\mu g} + \frac{1-\mu}{\mu\varrho}\text{[1]}, \text{ oder,}$$

da

$$\frac{1}{g} = \frac{1-\mu}{r} - \frac{\mu}{b} \text{ war,}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1-\mu}{\mu}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\varrho}\right) - \frac{1}{b}, \text{ oder}$$

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{b} = \frac{1-\mu}{\mu}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\varrho}\right), \text{ oder}$$

$$f = \frac{br\varrho}{\left(\frac{1}{\mu} - 1\right)b(r+\varrho) - r\varrho}.$$

---

1 Dieser Werth hätte sich unmittelbar aus dem Werthe von g herleiten lassen, denn da $\frac{1}{g} = \frac{1-\mu}{r} - \frac{\mu}{b}$ war, aber hier offenbar $-f$ statt g, g statt b, $\frac{1}{\mu}$ statt μ, ϱ statt r zu setzen ist, so mufs $-\frac{1}{f} = \frac{1-\frac{1}{\mu}}{\varrho} - \frac{1}{\mu g}$ oder $\frac{1}{f} = \frac{1-\mu}{\mu\varrho} + \frac{1}{\mu g}$ seyn; es ist aber $-f$ statt g zu schreiben, weil N, H an einerlei Seite liegen.

Diese Formel geht in $F = \frac{r\varrho}{\left(\frac{1}{\mu}-1\right)(r+\varrho)}$ über, wenn b so grofs ist, dafs man den Bruch $\frac{r\varrho}{b}$ als ganz unbedeutend weglassen kann. In diesem Falle heifst F die *Brennweite* des Glases und es ist offenbar $\frac{1}{F} = \left(\frac{1}{\mu}-1\right)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{\varrho}\right)$,

$$\frac{1}{f}+\frac{1}{b}=\frac{1}{F}, \text{ oder } \frac{1}{f}=\frac{1}{F}-\frac{1}{b},$$

wo sogleich erhellt, dafs f positiv bleibt, oder dafs der Vereinigungspunct N bei einem convex-convexen Glase jenseit des Glases liegt, so lange b gröfser als die Brennweite ist.

Diese Formeln sind so angegeben, dafs die convex-convexe Linse als der Normalfall angenommen ist; in den Fällen also, da eine der Oberflächen concav ist, mufs man den Halbmesser der concaven Kugelfläche negativ setzen; für ein Glas mit einer ebenen Oberfläche ist der Halbmesser $= \infty$. Man erhält daher für die einzelnen Fälle folgende Formeln:

1) die allgemeinen Formeln für das convex-convexe Glas

$$\frac{1}{F} = \left(\frac{1}{\mu}-1\right)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{\varrho}\right);$$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{F}-\frac{1}{b},$$

wobei zugleich erhellt, dafs f und F einerlei bleiben, es mag die eine oder die andere Seite dem leuchtenden Puncte zugekehrt werden;

2) für das gleichseitige convex-convexe Glas, wo $r=\varrho$,

$$\frac{1}{F} = \left(\frac{1}{\mu}-1\right)\frac{2}{r};$$

3) für das plan-convexe Glas

$$\frac{1}{F} = \left(\frac{1}{\mu}-1\right).\frac{1}{r};$$

4) für den Meniscus und für das convex-concave Glas

$$\frac{1}{F} = \left(\frac{1}{\mu}-1\right)\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{\varrho}\right),$$

so dafs die Brennweite F positiv bleibt, wenn der Halbmesser der concaven Fläche ϱ gröfser ist, als der Halbmesser der convexen Fläche, so wie es bei dem Meniscus der Fall ist; ist $r=\varrho$,

wie bei den Uhrgläsern, so ist $F = \infty$ oder die parallel einfallenden Strahlen sind auch nach dem Durchgange parallel;

5) für ein concav-concaves Glas, wo beide Halbmesser negativ werden, ist $\frac{1}{F} = -\left(\frac{1}{\mu}-1\right)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{\varrho}\right)$, und hier liegt also der Vereinigungspunct vor dem Glase, er ist also kein wirklicher Vereinigungspunct, sondern nur derjenige Punct, von welchem die divergirend hervorgehenden Strahlen auszugehen scheinen. Es versteht sich nämlich, dafs $\frac{1}{\mu}$ hier immer als >1 angenommen wird, da von dem Durchgange durch ein in der Luft oder im leeren Raume aufgestelltes Glas die Rede ist; da, wo etwa statt des Glases ein blofs mit einer Glashülle umgebener flüssiger Körper gebraucht würde, ist gleichwohl immer $\frac{1}{\mu}>1$, und nur bei der Prüfung von Luft-Arten, die man in ein hohles Linsenglas eingeschlossen hätte, könnte das Gegentheil statt finden; aber dieser Fall liegt aufser den Grenzen unserer jetzigen Betrachtung; eben so auch der, wo etwa eine solche Linse sich innerhalb eines stärker brechenden Mittels befände.

6) Für ein plan-concaves Glas ist

$$\frac{1}{F} = -\left(\frac{1}{\mu}-1\right)\cdot\frac{1}{r}.$$

7) Als einen besonders zu erwägenden Fall mufs ich doch noch den anführen, wo der Lichtstrahl durch eine massive Glaskugel geht. Wenn hier $BCD = \varphi$ ist, $CB = r$, $AB = b$, so ist, da auch hier nur von Strahlen, die sehr nahe bei B auffallen, die Rede seyn kann, Fig. 48.

$$BAD = \frac{r}{b}\varphi,\quad CDL = \frac{\mu(b+r)}{b}.\varphi = CLD,$$

der Strahl geht in L wieder hervor, und wenn CL nach O verlängert worden, so ist für den abermals gebrochenen Strahl LN

$$OLN = \frac{1}{\mu}.CLD = \frac{b+r}{b}.\varphi,\ \text{also}$$

$$LN : CL = NCL : OLN - NCL,\ \text{also, weil}$$

$$NCL = 2CDL - BCD = \frac{2\mu\varphi(b+r)}{b} - \varphi\ \text{ist,}$$

$$LN : r = \left(\frac{2\mu(b+r)}{b}-1\right) : \left(\frac{r}{b}+2-\frac{2\mu(b+r)}{b}\right),\ \text{also}$$

$$LN = \frac{r(2\mu(b+r)-b)}{r(1-2\mu)+2(1-\mu)b}$$
$$= \frac{r\left((2\mu-1)+\frac{2\mu r}{b}\right)}{2(1-\mu)+\frac{r}{b}(1-2\mu)},$$

welches für grofse Werthe von b oder für parallel auffallende Strahlen übergeht in $F = r\left(\frac{2\mu-1}{2(1-\mu)}\right)$.

Um diese Formeln auf einige bekannte Fälle in möglichst einfacher Form, wenn auch nur näherungsweise anzuwenden, pflegt man für Glas $\mu = \frac{2}{3}$, für Wasser $\mu = \frac{3}{4}$ anzunehmen, und erhält so:

1) für Glas $F = \frac{2r\varrho}{r+\varrho}$ bei ungleichen Halbmessern eines convexen Glases; $F = r$ bei einem gleichseitigen convex-convexen Glase; $F = 2r$ bei einem planconvexen Glase; $F = \frac{1}{2}r$ bei der soliden Glaskugel.

2) Für Wasser ist die allgemeine Formel bei convexen Linsen $F = \frac{3r\varrho}{r+\varrho}$, also für eine gleichseitige Linse $= \frac{3}{2}r$; für eine planconvexe Linse $= 3r$; endlich für eine Wasserkugel $= r$.

3) Wenn man Linsen von Saphir anwendet, für welche $\mu = \frac{5}{9}$ ist, so giebt $F = \frac{5}{4} \cdot \frac{r\varrho}{r+\varrho}$, für gleichseitige Linsen $= \frac{5}{8}r$, und für die ganze Kugel $F = \frac{1}{8}r$.

4) Endlich geben Diamantlinsen, weil $\mu = \frac{2}{5}$, $F = \frac{2}{3}\frac{r\varrho}{r+\varrho}$, für gleichseitige Linsen $F = \frac{1}{3}r$, und für die ganze Kugel giebt es keinen Brennpunct mehr, weil schon innerhalb der Kugel der Strahl DL die Axe schneidet, wenn der auffallende Strahl mit der Axe parallel ist. In diesem Falle nämlich ist hier CDL $= \frac{2}{5}\varphi$, also $CL = \frac{2}{5}DL$, oder $CL = \frac{2}{5}(r + CL)$, das ist $CL = \frac{2}{3}r$, indem schon für $\mu = \frac{1}{2}$ der Strahl CL genau am Ende des Durchmessers die Kugeloberfläche erreichen würde.

An die obigen Formeln schliefsen sich noch einige fast von selbst hervorgehende Betrachtungen an. Da $\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{b}$ war, so ist auch $\frac{1}{b} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f}$, und der Ort des Bildes, der

Abstand f, wird durch den Ort des leuchtenden Punctes genau eben so bestimmt, wie dieser durch jenen, das heifst, verlegt man den leuchtenden Punct dahin, wo so eben das Bild entstand, so entsteht nun das Bild da, wo der leuchtende Punct sich befand.

Ferner zeigen die Formeln, dafs schon bei mäfsigen Werthen von b der Ort des Bildes ziemlich nahe mit dem Brennpuncte zusammentrifft. Ist nämlich, um von kleineren Abständen des leuchtenden Punctes anzufangen,

$b = 2F$, so ist auch $f = 2F$
$b = 10F$ $\quad f = 1{,}1111F$
$b = 20F$ $\quad f = 1{,}0526F$
$b = 50F$ $\quad f = 1{,}0204F$
$b = 100F$ $\quad f = 1{,}0101F$
$b = 1000F$ $\quad f = 1{,}0010F$.

Diese Zahlenwerthe geben zugleich einen Begriff von dem Fortrücken des Bildes, wenn der Gegenstand um etwas Gegebenes fortrückt. Dieses Fortrücken wird in folgendem Gesetze, welches Möbius angiebt [1], noch klarer. Da

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f}, \text{ so ist auch}$$

$$(f-F) = \frac{fF}{b} \text{ und}$$

$$(b-F) = \frac{bF}{f}, \text{ also}$$

$$(b-F)(f-F) = F^2, \text{ das heifst:}$$

Wenn man in der Axe des Glases an beiden Seiten den Brennpunct bemerkt, so ist die Brennweite des Glases die mittlere Proportionallinie zwischen dem Abstande des Gegenstandes vom einen und dem Abstande des Bildes vom andern Brennpuncte. Diese Bestimmung läfst sich leicht auch da anwenden, wo der Gegenstand zwischen dem Glase und dem Brennpuncte liegt.

Da die achromatischen Linsengläser eine Verbindung mehrerer Linsen fordern, so ist es nöthig, auch hier die Wirkung mehrerer Linsen zu untersuchen. Es sey also einer zweiten Linse Brennweite $= F'$, ihre Radien r' und ϱ', die Entfernung

1 Crelle Journ. f. Math. V. 113. Ich werde diese Abhandlung, die sich an Lagrange (Mém. de Berlin pour 1778) und Piola (Effemeridi astronomiche di Milano per l'anno 1822) anschliefst, noch öfter erwähnen.

des Bildes $= f'$, der Brechungscoefficient $= \mu'$, die Entfernung beider Linsen von einander $= D$, so ist das durch die erste Linse hervorgebrachte Bild als Gegenstand für die zweite anzusehn, und da der Abstand jenes Bildes vor der zweiten Linse $= D - f$ ist, so wird

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{F'} - \frac{1}{D-f}$$

und
$$\frac{1}{F'} = \left(\frac{1}{\mu'} - 1\right)\left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{\varrho'}\right).$$

Eben so erhielte man für eine dritte Linse, wenn F'', f'', D' ähnliche Bedeutung wie vorhin haben,

$$\frac{1}{f''} = \frac{1}{F''} - \frac{1}{D'-f'}.$$

Diese Gleichungen lassen sich auch so darstellen:

$$f = \frac{F \,.\, b}{b-F} = \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{b}};$$

$$f' = \frac{F'(D-f)}{(D-f)-F'} = \frac{1}{\frac{1}{F'} - \frac{1}{D-f}} = \frac{1}{\frac{1}{F'} - \cfrac{1}{D - \left(\cfrac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{b}}\right)}};$$

$$f'' = \frac{1}{\frac{1}{F''} - \frac{1}{D'-f'}}$$

$$= \cfrac{1}{\cfrac{1}{F''} - \cfrac{1}{D' - \cfrac{1}{\cfrac{1}{F'} - \cfrac{1}{D - \cfrac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{b}}}}}};$$

Formeln, welche Möbius zuerst angegeben hat, und die noch bequemer erscheinen, wenn man $\frac{1}{F} = G$, $\frac{1}{F'} = G'$, $\frac{1}{F''} = G''$, $\frac{1}{b} = c$ setzt, indem dann $f = \frac{1}{G-c}$;

$$f' = \cfrac{1}{G' - \cfrac{1}{D - \cfrac{1}{G-c}}};$$

$$f'' = \cfrac{1}{G'' - \cfrac{1}{D' - \cfrac{1}{G' - \cfrac{1}{D - \cfrac{1}{G - c}}}}}$$

gefunden wird und nun leicht die Reihe weiter fortzusetzen ist.

Als einen besondern Fall der Rechnung für zwei Linsen muſs ich hier doch die Methode erwähnen, deren Brewster sich bediente, um die Brechung solcher halbdurchsichtiger Körper zu bestimmen, die zwischen einer convexen Linse und einem Planglase eingepreſst die Lichtstrahlen durchlieſsen und nach ihrer verschiedenen Brechungskraft das Bild in einen andern Punct brachten [1]. Das Planglas können wir hier ganz unberücksichtigt lassen und es so ansehn, als ob an die zweite Oberfläche des convexen Glases sich mit gleichem Halbmesser die Oberfläche der zweiten Linse anschlösse, deren andere Oberfläche eben war. In den eben angegebenen Formeln wird also $D = o$,

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{F'} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F'} + \frac{1}{F} - \frac{1}{b},$$

oder, wenn μ', $-r' = \varrho$, ϱ' für die zweite Linse und μ, r, ϱ für die erste Linse gelten,

$$-\frac{1}{F'} = \left(\frac{1}{\mu'} - 1\right).\frac{1}{\varrho},$$

wenn $\varrho' = \infty$, also

$$-\left(\frac{1}{\mu'} - 1\right)\frac{1}{\varrho} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{b} - \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\varrho}\right),$$

oder, wenn ich $r = \varrho$ oder die erste Linse gleichseitig voraussetze,

$$\frac{1}{\mu'} = \frac{2}{\mu} - 1 - \frac{\varrho}{f'} - \frac{\varrho}{b},$$

wodurch μ' gefunden wird, da b, f', ϱ und auch μ bekannt sind.

Auch bei diesen Verbindungen mehrerer Linsen bieten sich einige merkwürdige Sätze dar, die ich aus der Abhandlung von Möbius entlehne. Ist nämlich bei zwei Linsen b der Abstand des Gegenstandes von der ersten, b' der Abstand des durch beide Linsen hervorgebrachten Bildes von der zweiten Linse, F die Brennweite der ersteren, F' die Brennweite der zweiten, so

1 S. Art. *Brechung*. Bd. I. S. 1142.

würde b — F der Abstand des Gegenstandes vom ersten Brennpuncte und b′ — F′ der Abstand des Bildes vom zweiten Brennpuncte seyn und (b — F) (b′ — F′) ist eine constante Gröfse.

Denkt man sich nämlich zuerst parallele Strahlen auf das erste Glas fallend und findet das durch sie hervorgebrachte Bild in der Entfernung $= F'''$ hinter dem letzten Glase, so mag dieses hier die Brennweite des Systems der Linsen heifsen, und denkt man sich parallele Strahlen auf das letzte Glas fallend, die jenseit des ersten Glases das Bild in dem Abstande $= F''$ machen, so sind F'', F''' die Entfernungen, die man die Brennweiten des ganzen Systems nennen kann. Wenn sich ferner im Abstande $= b''$ vor dem ersten Glase ein leuchtender Punct befindet, dessen Bild in der Entfernung $= b'''$ hinter dem letzten Glase liegt, so zeigt Möbius allgemein, dafs $(b''-F'')(b'''-F''') = h^2$ und h eine für jede Lage des Gegenstandes constante Linie sey, die blofs durch die Anordnung des Systems von Linsen bestimmt ist. Es war zum Beispiel für zwei Linsen

$$f' = \frac{1}{\frac{1}{F'} - \frac{1}{D - \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{b}}}}, \text{ welches für}$$

$$b = \infty \text{ giebt } F''' = \frac{1}{\frac{1}{F'} - \frac{1}{D-F}} = \frac{F'(D-F)}{D-F-F'},$$

also, wenn ich hier $f' = b'''$ und $b = b''$ setze,

$$b''' = \frac{1}{\frac{1}{F'} - \frac{1}{D - \frac{F b''}{b''-F}}} = \frac{F'\left(D - \frac{F b''}{b''-F}\right)}{D - F' - \frac{F b''}{b''-F}}$$

$$= \frac{F'(b''(D-F) - DF)}{b''(D-F-F') - F(D-F')},$$

$$= \frac{b''F''' - \frac{DFF'}{D-F-F'}}{b''-F''},$$

weil $F'' = \frac{F(D-F')}{D-F-F'}$ ist; also ist

$$b''' - F''' = \frac{F''F''' - \frac{DFF'}{D - F - F'}}{b'' - F''}, \text{ und}$$

das Product

$$(b''' - F''')(b'' - F'') = F''F''' - \frac{DFF'}{D - F - F'} = \frac{F^2 \cdot F'^2}{(D - F - F')^2}$$

ist unabhängig von b'' und b'''. Möbius hat den Satz allgemein für mehrere Linsen bewiesen, was aber hierher nicht gehört.

Die bisherigen Formeln gelten nur dann, wenn die Strahlen sehr nahe bei der Axe einfallen, wenn das Glas sehr dünne ist und wenn die Lichtstrahlen alle gleiche Brechbarkeit haben oder im strengsten Sinne von einer einzigen Farbe sind. Finden diese drei Umstände nicht statt, so treffen nicht alle Strahlen in einerlei Puncte mit der Axe zusammen, und es ist der Mühe werth, ehe wir eine strengere Bestimmung versuchen, die Gröfse dieser Abweichungen an Beispielen ungefähr kennen zu lernen.

Selbst bei den sehr nahe an der Axe einfallenden Strahlen findet *wegen der Dicke des Glases* eine Abweichung von dem Bilde statt, das wir nach den vorigen Formeln bestimmen. Bleibe ich nämlich bei sehr kleinen Winkeln stehn und setze für Strahlen, die der Axe parallel einfallen, den Einfallswinkel $= \varphi$, so ist der Winkel nach der Brechung $= \mu\varphi = \varphi'$, und es wird, wie oben, $g = \frac{r}{1 - \mu}$ gefunden, die Brennweite F aber durch

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{\mu g} + \frac{1 - \mu}{\mu \varrho}.$$

Wenn das Glas die Dicke $= \nu = \Delta g$ hat, so wird

$$\frac{1}{F + \Delta F} = \frac{1}{\mu(g - \nu)} + \frac{1 - \mu}{\mu \varrho}, \text{ also}$$

$$\frac{\Delta F}{F^2} = \frac{-\nu}{\mu g^2},$$

vorausgesetzt, dafs ν klein genug ist, um seine höhern Potenzen wegzulassen. Der Grund dieser Aenderung ist einleuchtend. Indem der bei D einfallende Strahl in der Glasmasse sich der Axe nähert, ist, wenn $BD = r \text{ Sin.} \psi$, $ML = \varrho \text{ Sin.} \psi'$ heifst, nicht mehr $r \text{ Sin } \psi = \varrho \text{ Sin.} \psi'$, sondern der Abstand ML ist um DL . Sin. DHM kleiner als Dx, und so wenig dieses bei Strahlen an der Axe beträgt, so ist es doch in Vergleichung gegen Dx selbst erheblich genug, wie die obige Formel zeigt. Fig. 47.

Um die Rechnung genau zu führen, mufs man folgende Formeln anwenden. Wenn $AB = b$ der Abstand des leuchtenden Punctes ist, $BCD = \psi$, $BC = r$, so ist der Einfallswinkel ADG durch $\text{Sin.}ADG = \text{Sin.}\varphi = \text{Sin.}BAD \cdot \left(\frac{b+r}{r}\right)$ gegeben, und wenn DH die Richtung des Strahles innerhalb des Glases ist, $BH = g$ heifst, so ist $\text{Sin.}CDH = \mu\,\text{Sin.}\varphi = \text{Sin.}\varphi'$, $g - r = \frac{r.\text{Sin.}\varphi'}{\text{Sin.}(\varphi - \varphi')}$.

Für die zweite Brechung bei L ist $KH = g + \varrho - \nu$, wenn ν die Dicke des Glases ist, gegeben, so wie $KL = \varrho$; man findet daher den Einfallswinkel OLH durch die Gleichung

$$\text{Sin.}OLH = \text{Sin.}\varphi'' = \frac{(\varrho + g - \nu).\text{Sin.}(\varphi - \varphi')}{\varrho},$$

den Brechungswinkel NLO durch

$$\text{Sin.}NLO = \text{Sin.}\varphi''' = \frac{1}{\mu}\text{Sin.}\varphi'',$$

und nun $\quad KN = \varrho + f = \frac{\varrho\,.\,\text{Sin.}\varphi'''}{\text{Sin.}(H + NLH)}$,

$$\varrho + f = \frac{\varrho\,.\,\text{Sin.}\varphi'''}{\text{Sin.}(\varphi - \varphi' + \varphi''' - \varphi'')},$$

und f ist dann der Abstand des Durchschnittspunctes dieses Strahls mit der Axe von der Hinterseite des Glases.

Beispiel. Eine gleichseitige Linse, in welcher das Verhältnifs der Brechung $\mu = \frac{2}{3}$ ist, wo also $F = r$ wird, wenn $r = \varrho$ den beiden Halbmessern gleich ist, sammle parallel auffallende Strahlen. Die Breite der Linse sey so grofs, dafs $Bd = Md = 12°$, also $BM = 2r.\text{Sin. vers. }12° = 0{,}043705.r = \nu$ sey, so ist für parallel auffallende Strahlen $\varphi = BCD = \psi$. Es sey $\varphi = 15'$, so ist $\varphi' = 10'$ und $g - r = 2r$, aber nun ist $\text{Sin.}\varphi'' = \frac{(4r - \nu)}{r}.\text{Sin.}5'$, also $\varphi'' = 19'\,46'',9$; $\varphi''' = 29'\,40'',3$;

$$\varrho + f = \frac{\varrho.\text{Sin.}29'\,40'',3}{\text{Sin.}14'\,53'',4} = 1{,}992704.r,$$

also ist $F = 0{,}992704$, statt dafs F bei einer überaus dünnen Linse $= 1$ seyn würde. Wenn man nach eben diesen Formeln für 1°, 2°, 4°, 8°, 12° rechnet, so erhält man, wenn ich zugleich $\varDelta F$ die Abweichung von dem Puncte, welcher den nahe an der Axe auffallenden Strahlen entspricht, setze, Folgendes.

φ	φ'	g	φ''	φ'''	F	ΔF
0°.15′	0°. 10′.	3,00000	0°. 19′. 46,9	0°. 29′. 40″,3	0,99270	0,00000
1°. 0′	0. 39. 59,9	2,99972	1. 19. 8,0	1. 58. 42,8	0,99246	0,00024
2°. 0′	1. 19. 59,4	2,99922	2. 38. 18,5	3. 57. 34,1	0,99070	0,00200
4°. 0′	2. 39. 55,7	2,99676	5. 16. 56,9	7. 56. 16,4	0,98472	0,00798
8°. 0′	5. 19. 25,3	2,98706	10. 36. 37,1	16. 1. 59,2	0,96041	0,03229
12°. 0′	7. 58. 2,2	2,97092	16. 1. 57,8	24. 28. 26,2	0,91805	0,07465

Wenn man also in der Gegend von mn die Strahlen auffängt, so zerstreuen die nach LN auffallenden sich auf den Umfang eines Kreises, dessen Halbmesser = nm = nN . Tang. LNM ist, und der Halbmesser dieses Kreises = ξ ist, wenn die Tafel mn im Brennpuncte der an der Axe einfallenden Strahlen steht, für $\varphi = 1°$ $\xi = 0{,}000004$
2° 0,000069
4° 0,000555
8° 0,004550
12° 0,016493.

Die auf ein so breites Glas auffallenden Strahlen zerstreuen sich also in einen sehr bedeutenden Kreis, den man jedoch minder grofs erhielte, wenn man die Tafel mn ungefähr da aufstellte, wo $\Delta F = 0{,}065$ ist; da nämlich würde ξ folgende Werthe erhalten: für $\varphi = 0$ $\xi = 0{,}00000$
1° 0,00112
2° 0,00220
4° 0,00398
8° 0,00461
12° 0,00208,

und der gröfste Durchmesser des Zerstreuungskreises wäre doch nur reichlich ein Viertel des vorigen.

Die *Abweichung wegen der Ungleichheit der Brechung der verschiedenfarbigen Strahlen* hängt bekanntlich davon ab, dafs die violetten Strahlen viel stärker gebrochen werden, als alle übrige, und dafs eben so die rothen die schwächste Brechung erleiden, jene also bei einer convexen, die Strahlen sammelnden Linse in einem näheren Brennpuncte, diese in einem entferntern Brennpuncte zusammenkommen. Nimmt man, wie es bei Kronglas der Fall ist, $\frac{1}{\mu} = 1{,}546$ für die einen und $\frac{1}{\mu} = 1{,}526$ für die andern an, so ist bei einer gleichseitigen

Linse $\frac{1}{F} = \frac{1,052}{r}$ im einen und $= \frac{1,092}{r}$ im andern Falle, das ist, $F = 0,95058 . r$ oder $= 0,91575 . r$ für die Centralstrahlen; also, da für die mittleren Strahlen des Farbenbildes ungefähr $F = 0,93316 . r$ ist, die Längen-Abweichung $= \pm 0,01867 . F$ für die am wenigsten und für die am meisten gebrochenen Centralstrahlen, und die Längen-Abweichung der Randstrahlen für eine Linse, wo, wie vorhin, $\varphi = 12^{\circ}$ am Rande ist, $= 0,06854 . F$ für die am wenigsten gebrochenen und $= 0,10712 . F$ für die am meisten gebrochenen Strahlen.

Wenn man nun die Frage, ob und wie diese Abweichungen aufgehoben werden könnten, näher betrachtet, so erhellt sogleich, dafs die aus der Farbenzerstreuung entstehende Abweichung bei keiner Form der Oberflächen in einer einzigen Linse zerstört werden kann, indem, selbst wenn man andere als sphärische Formen der Oberfläche wählen wollte, dennoch der ungleiche Werth von μ das Zusammenkommen in *einem* Brennpuncte hindern würde. Zwei Gläser von ungleicher Brechungskraft, in welchen eine ungleiche Zerstreuung der Lichtstrahlen statt findet, können dagegen, bei gehöriger Wahl der Brennweiten, gar wohl geeignet seyn, die Vereinigung derjenigen Strahlen, die zwei verschiedenen Farben zugehören, wenigstens so fern nur von Strahlen in der Nähe der Axe die Rede ist, zu bewirken. Ob dann eine völlige Farbenlosigkeit des Bildes statt findet, ob nämlich, wenn die äufsersten rothen mit den äufsersten violetten vereinigt sind, auch alle mittlern Strahlen sich in eben dem Puncte sammeln, das hängt von dem Gesetze ab, nach welchem die verschiedenen Farben sich bei der Brechung in dem einen und in dem andern Körper ausbreiten; ist dieses Gesetz so beschaffen, dafs die Vereinigung der äufsersten Strahlen noch eine merkliche Abweichung einiger mittlern Strahlen zuläfst, so würde eine dritte Linse erfordert, um die völlige Farbenlosigkeit des Bildes herzustellen.

Was die *Abweichung wegen der Kugelgestalt* betrifft, so scheint es bei oberflächlicher Betrachtung nicht eben ganz unmöglich, diese durch eine einzige Linse zu heben. Verlangt man nämlich, dafs eine Linse eine bestimmte Brennweite habe, so kann das bei einem sehr verschiedenen Werthe der beiden Radien statt finden; bei der Wahl dieser Radien wird man gewifs einen ungleichen Betrag der *sphärischen Aberration*

erhalten, aber es zeigt sich bei näherer Untersuchung, dafs eine völlige Aufhebung derselben dennoch nicht möglich ist. Um die angenäherte Zerstörung dieser Abweichung durch zwei vereinigte Linsen zu bewirken, mufs man die vier Radien der Oberflächen beider Linsen, die ich r, ϱ, r', ϱ' nennen will, so bestimmen, dafs das Glied, welches von der niedrigsten Potenz der Breite der Linse abhängt, verschwindet, und da hier vier Gröfsen zu bestimmen sind oder bei festgesetzter Brennweite der zusammengesetzten Linse doch immer noch drei Gröfsen, so läfst sich voraussehn, dafs dieser Zweck auf mehr als eine Weise erreicht werden wird; es ist eine unbestimmte Aufgabe, wo drei Gröfsen durch *eine* Gleichung bestimmt werden. Da aber die Aufhebung der Farbenzerstreuung als ein bei Zusammensetzung zweier Linsen vor allem zu erreichender Zweck zu beachten ist, so ergiebt sich daraus eine zweite Gleichung, und um die Aufgabe zu einer völlig bestimmten zu machen, hat man noch eine dritte Bedingung auf eine passende Weise hinzuzufügen gesucht. So z. B. kann man fordern, dafs die sphärische Abweichung bei der ersten Linse möglichst klein sey, wodurch das Verhältnifs der Gröfsen r, ϱ bestimmt wird, oder man kann fordern, dafs die Hinterfläche des ersten und Vorderfläche des zweiten Glases genau an einander anschliefsen, oder man kann nach Herschel die sphärische Abirrung auch bei Strahlen, die von nähern Gegenständen kommen, aufheben wollen, oder nach Gauss fordern, dafs nicht blofs für die Axenstrahlen, sondern auch für die Randstrahlen die Farbenzerstreuung wegfalle, das heifst, die Vereinigung zweier bestimmter Farben statt finde. Wir wollen nun sehn, wie eine möglichst vollkommene Gestalt der Linsen gefunden wird, uns aber dabei begnügen, auf zwei Linsen Rücksicht zu nehmen, indem eine vollendete Entwickelung des ganzen Gegenstandes hier nicht wohl möglich seyn würde.

1. Nähere Untersuchung der Abweichung wegen ungleicher Brechbarkeit der verschiedenen Farbenstrahlen.

Es erhellt zuerst leicht, dafs, wenn μ für eine Farbe, $\mu + \Delta\mu$ für eine zweite Farbe die Brechung angiebt, die Brennweite einer Linse, deren Halbmesser r und ϱ sind, durch die

Gleichungen $\frac{1}{F} = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\varrho}\right)$ für die eine Farbe und durch $\frac{1}{F + \varDelta F} = \left(\frac{1}{\mu + \varDelta\mu} - 1\right)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\varrho}\right)$ für die andre Farbe gefunden wird, oder dafs, wenn man $\varDelta\mu$ und $\varDelta F$ als klein genug ansieht, um die höhern Potenzen wegzulassen,

$$\varDelta F = \frac{F \cdot \varDelta\mu}{\mu^2\left(\frac{1}{\mu} - 1\right)}$$ ist.

Wenn eine zweite Linse, deren Radien r', ϱ' sind und in welcher eben die Farbenstrahlen in dem durch μ' und $\mu' + \varDelta\mu'$ ausgedrückten Verhältnisse gebrochen werden, sich in der Entfernung $= D$ von der andern befindet, so ist $D - F$ oder $D - F - \varDelta F$ der Abstand des ersten Bildes, und da, wenn der Sammelpunct in der Entfernung $= F''$ oder $F'' + \varDelta F''$ liegt, $\frac{1}{F''} + \frac{1}{D - F} = \frac{1}{F'} = \left(\frac{1}{\mu'} - 1\right)\left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{\varrho'}\right)$,

$$\frac{1}{F'' + \varDelta F''} + \frac{1}{D - F - \varDelta F} = \frac{1}{F' + \varDelta F'}$$

ist, wenn F' die Brennweite der zweiten Linse bedeutet, so ist offenbar aus den vorigen Werthen von $\varDelta F$, $\varDelta F'$

$$\varDelta F'' = -F''^2 \left\{\frac{F}{(D - F)^2} \frac{\varDelta \frac{1}{\mu}}{\left(\frac{1}{\mu} - 1\right)} + \frac{1}{F'} \frac{\varDelta \frac{1}{\mu'}}{\left(\frac{1}{\mu'} - 1\right)}\right\},$$

welches $= 0$ wird, wenn zugleich $D = 0$ ist, für

$$F' = -F \cdot \frac{\varDelta \cdot \frac{1}{\mu'}}{\varDelta \cdot \frac{1}{\mu}} \cdot \frac{\left(\frac{1}{\mu} - 1\right)}{\left(\frac{1}{\mu'} - 1\right)},$$

das heifst, wenn man $\frac{\varDelta \cdot \frac{1}{\mu}}{\frac{1}{\mu} - 1}$, die Gröfse der Zerstreuung im ersten Glase, $= \varDelta\nu$ und $\frac{\varDelta \cdot \frac{1}{\mu'}}{\frac{1}{\mu'} - 1} = \varDelta\nu'$ die Zerstreuung im zweiten Glase nennt, $F' : -F = \varDelta\nu' : \varDelta\nu$.

Im Flintglase ist nach FRAUNHOFER für die Strahlen, die im Sonnenlichte die stärkste Erleuchtung geben, ungefähr $\frac{1}{\mu'} - 1 = 0{,}63736$, für die schon sehr schwach werdenden violetten Strahlen $= 0{,}67106$, $\Delta\nu' = \frac{0{,}0337}{0{,}6373}$; für Kronglas, in Beziehung auf dieselben Strahlen, $\frac{1}{\mu} - 1 = 0{,}5307$ und $0{,}5466$, also $\Delta\nu = \frac{0{,}0160}{0{,}5307}$, und $\Delta\nu' : \Delta\nu = 1{,}756 : 1$, so dafs die Flintglaslinse ungefähr $1\frac{3}{4}$mal so grofse Zerstreuungsweite haben mufs, (weil F' negativ wird,) als die Brennweite der Kronglaslinse.

Diese Formel würde völlig Genüge thun, wenn $\frac{\Delta\mu}{\frac{1}{\mu} - 1}$ zu $\frac{\Delta\mu'}{\frac{1}{\mu'} - 1}$ immer einerlei Verhältnifs behielte für alle verschiedenfarbige Strahlen; dieses aber ist nicht der Fall. FRAUNHOFER hat die genauen Brechungsverhältnisse für bestimmte Farbenstrahlen untersucht und zum Beispiel für einen Strahl, der ziemlich der Grenze des Gelb und Orange nahe liegt,

$$\text{für Kronglas } \frac{1}{\mu} - 1 = 0{,}529587,$$

$$\text{für Flintglas } \frac{1}{\mu'} - 1 = 0{,}635036$$

gefunden; der Unterschied zwischen der Brechung dieses Strahls und des der Grenze des Roth nahe liegenden war

$$\Delta\mu = 0{,}003755,$$
$$\Delta\mu' = 0{,}007287,$$

also für diese beiden Strahlen $\Delta\nu' : \Delta\nu = 1{,}6183 : 1$; dagegen ist der Unterschied zwischen der Brechung jenes ersten Strahls und eines im tiefen Blau liegenden Strahls $\Delta\mu = 0{,}012070$,

$$\Delta\mu' = 0{,}025249,$$
$$\Delta\nu' : \Delta\nu = 1{,}74462 : 1.$$

Wenn man daher die Absicht hätte, mit jenem ersten Strahle so wohl den rothen, als auch den blauen in einem Brennpuncte zu vereinigen, so wäre das mit zwei Linsen nicht ausführbar. Diese Schwierigkeit, dafs nämlich noch ein secundäres Farben-

bild übrig bleibt, wenn man auch den wichtigsten Theil der Farbenzerstreuung wegschafft, will ich indefs hier aus den Augen lassen und mich begnügen, die Untersuchungen über das, was zwei Linsen leisten können, vollständig mitzutheilen.

Das secundäre Spectrum, welches wegen dieses ungleichen Gesetzes der Farbenzerstreuung immer noch übrig bleibt, würde sich nur durch eine dritte Linse von anderer Zerstreuung der Farben wegschaffen lassen. Damit diese Farben, die nicht gänzlich in einen Punct vereinigt werden können, möglichst wenig nachtheilig wirken, richtet man das Objectiv eines Fernrohrs nicht so ein, dafs es die äufsersten Strahlen vereinigt, indem dann die mittleren und zugleich lichtvollsten Strahlen nicht strenge vereinigt würden und folglich das Bild farbig machen müfsten. Wenn die strenge vereinigten Strahlen in der Mitte des Orange und in dem noch lebhaften Blau liegen, so ist die Farbenlosigkeit am meisten vollkommen; wenn man in einem so angeordneten Fernrohre das Augenglas ein wenig weiter herauszieht oder hineinschiebt, so sieht man im ersten Falle einen schwach purpurfarbenen Rand, im zweiten Falle einen schwachen, grünlichen Rand; im einen Falle nämlich geben die vereinigten äufsersten Strahlen, roth und violett, einen purpurfarbenen Rand, im andern Falle geben die hier vereinigt erscheinenden mittleren Strahlen grün und gelb einen grünlichen Rand, und diese Ränder, als die schwächsten, die man erhalten kann, sind die Zeichen der möglichst gut durch die beiden gewöhnlichen Glasarten hervorgebrachten Farbenlosigkeit. Durch andere Materien, als Glas, namentlich durch Flüssigkeiten, hat man dieses secundäre Spectrum zu vermeiden gesucht, wovon am Schlusse die Rede seyn wird.

2. Untersuchung der Abweichung wegen der Kugelgestalt.

Da die Regel, nach welcher wir oben die Brennweite und die Lage des Bildes bestimmt haben, nur für Strahlen, die sehr nahe bei der Axe einfallen, anwendbar ist, so sind wir genöthigt, für etwas entfernter auffallende Strahlen auf diejenige Correction Rücksicht zu nehmen, die daraus entsteht, dafs es nicht genau statthaft ist, den Sinus des Bogens mit dem Bogen selbst zu vertauschen. Auch hier dienen uns die Formeln

$$\frac{1}{g} = \frac{1-\mu}{r} - \frac{\mu}{b},$$

so lange der Strahl noch in der Glasmasse selbst fortgeht, und

$$\frac{1}{F} = \left(\frac{1}{\mu}-1\right)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{\varrho}\right),\ \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{b},$$

wenn der Strahl aus der Linse hervorgegangen ist, zur Grundlage; und die Längen-Abweichung zu finden, so fern sie nur von den niedrigsten Potenzen des Abstandes von der Axe abhängt, ist der nächste Gegenstand unserer Untersuchung.

Ich befolge bei dieser Untersuchung dem Wesentlichen nach den Gang, den Klügel[1], Santini[2] und ziemlich eben so auch Herschel[3] genommen haben. Alle diese Schriftsteller bleiben bei dem ersten Correctionsgliede stehn, welches nämlich von dem Quadrate des Halbmessers der Linse oder von $r^2 \text{Sin.}^2\psi$ in den vorhin gebrauchten Bezeichnungen abhängig ist. Da nämlich, bei Fernröhren wenigstens, die Oeffnung des Objectivs allemal nur ziemlich geringe gegen die Brennweite und gegen die Gröſse des Radius r ist, so werden die höhern Potenzen von $\text{Sin.}\,\psi$ immer kleinere Brüche und die zu bestimmende Correction beruht dem Haupttheile nach auf diesem Gliede[4]. Man pflegt auch dabei die Dicke des Glases nicht zu berücksichtigen; denn obgleich diese, wie wir gesehn haben, selbst für die der Axe sehr nahe einfallenden Strahlen eine erhebliche Correction nöthig macht, so läſst sich doch die von der Kugelgestalt abhängige Abweichung abgesondert von diesem Einflusse betrachten; nur muſs man nicht geradezu glauben, daſs die gefundene Correction bis auf Glieder, die $\text{Sin.}^4\psi$ enthalten, genau sey, weil die Dicke des Glases für die der Axe nähern Strahlen einen sehr viel gröſsern Werth hat, als der Factor $\text{Sin.}^4\psi$ angäbe.

Da wir also BM als unerheblich ansehn und BA mit

---

1 Dioptrik. S. 65.

2 Teorica degli stromenti ottici. Tomo I. p. 115.

3 Philos. Transact. for 1821. p. 222.

4 Schleiermacher hat in einem noch unvollendeten Aufsatze (Poggend. Ann. XIV. 1.) auch auf Glieder, die man gewöhnlich unberücksichtigt läſst, gesehn; seine Darstellung, die übrigens mehr angedeutete als ausgeführte Rechnungen enthält, scheint mir aber zu schwierig, so daſs ich ihr nicht habe folgen können.

DA verwechseln, so erhellt, daſs $Dx = x$ uns folgende bis auf die Glieder, welche x^2 enthalten, entwickelte Bestimmungen giebt: $AD^2 = \left(b + \frac{x^2}{2r}\right)^2 + x^2$ oder $AD = b + \frac{b+r}{2br}x^2$.
Folgende ganz strenge genaue Proportionen:

$$AD : AC = \text{Sin.}ACD : \text{Sin.}ADC,$$
$$CH : DH = \text{Sin.}CDH : \text{Sin.}ACD,$$
$$1 : \mu = \text{Sin.}ADC : \text{Sin.}CDH,$$

welche $AD \cdot CH = \mu \cdot AC \cdot DH$ geben, bringen also, da

$$CH = g - r + \Delta g,$$
$$AC = r + b,$$
$$DH = \sqrt{\left\{x^2 + \left(g + \Delta g - \frac{x^2}{2r}\right)^2\right\}}$$
$$= g - \frac{x^2}{2r} + \Delta g + \frac{x^2}{2g}$$

ist, die Gleichung

$$b(g-r) + b\Delta g + \frac{b+r}{2br}(g-r)x^2$$
$$= \mu\left\{g(b+r) + \Delta g(b+r) - \frac{(g-r)(b+r)x^2}{2gr}\right\}$$

hervor, die bis auf Glieder der Ordnung, wobei wir hier stehn bleiben, genau ist. Hier ist nämlich Δg die Vergröſserung, welche der Abstand des Vereinigungspunctes innerhalb des Glases erleidet, wenn die das Bild darstellenden Strahlen weiter vom Mittelpuncte auffallen, und da diese dem Quadrate von x proportional ist oder ihrem bedeutendsten Gliede nach dem x^2 proportional, so konnten alle Glieder, wo x^2 mit Δg multiplicirt wird, weggelassen werden.

In dieser Gleichung heben sich die von x und Δg unabhängigen Glieder auf, wie es sich von selbst versteht, weil für $x = 0$ oder für Strahlen an der Axe ja keine hier anzugebende Correction vorkommt, und es ist auch $b(g-r) = \mu g(b+r)$ oder $\frac{1}{g} = \frac{1-\mu}{r} - \frac{\mu}{b}$, wie vorhin; Δg aber wird $=$

$$-\frac{(g-r)(b+r)(g+\mu b)x^2}{2gbr(b(1-\mu)-\mu r)},$$

oder da

$$r = \frac{bg(1-\mu)}{\mu g + b} \text{ ist,}$$

$$\Delta g = -\frac{\mu(b+g)^2(g+\mu b)x^2}{2(1-\mu)^2 g \cdot b^3}.$$

So groſs würde die erforderliche Correction seyn, wenn der Strahl bis zum Vereinigungspuncte in der Masse des Glases bliebe, und diese Correction geht für sehr entfernte Gegenstände oder für parallel auffallende Strahlen, wo $\frac{1}{b} = 0$, in

$$= \frac{\mu^2 x^2}{2g(1-\mu)^2} \text{ über.}$$

Bei dem Hervorgehen aus dem Glase läſst sich die Abweichung als aus zwei Theilen, die ich Δf und δf nennen will, bestehend ansehn. Erstlich nämlich würde ja f eine Aenderung leiden, wegen des Werthes von Δg, wenn auch an der zweiten Fläche gar keine neue Abweichung wegen der Gestalt statt fände, aber zweitens kommt auch diese zweite Abweichung noch hinzu. Was das Erstere betrifft, so war in den frühern Formeln $\frac{1}{f} = \frac{1}{\mu g} + \frac{1-\mu}{\mu \varrho}$, also

$$\frac{1}{f+\Delta f} = \frac{1}{(g+\Delta g)\mu} + \frac{1-\mu}{\mu\varrho},$$

oder

$$\Delta f = +\frac{\Delta g \cdot f^2}{\mu g^2}$$

$$= -\frac{f^2}{g^2} \cdot \frac{(b+g)^2(g+\mu b)x^2}{2 \cdot (1+\mu)^2 g \cdot b^3}.$$

Der zweite Theil $= \delta f$ läſst sich aus dem für g gefundenen Werthe von Δg herleiten; denn da L fast eben so weit als D von der Axe entfernt ist und bei höchst geringer Dicke dieses ganz genau statt fände, so können wir x als eben das, wie vorhin, bedeutend beibehalten, dagegen müssen wir statt b in die Formeln $-g$, statt r aber $-\varrho$ setzen, $\frac{1}{\mu}$ ist statt μ, f statt g zu setzen. Die Gründe für diese Veränderungen erhellen leicht, indem der durch die Entfernung $= g$ gegebene Vereinigungspunct hier als Ort des leuchtenden Punctes anzusehn ist und, da er da liegt, wohin der Strahl geht, als negativ in die Rechnung kommt. Da ich das Glas als convex-convex annehme, so hat ϱ die dem r entgegengesetzte Lage, der Brechungscoefficient ist eben so hier $\frac{1}{\mu}$, wie er vorhin μ war. Wir erhalten

also $$\delta f = + \frac{\frac{1}{\mu}(-g+f)^2\left(f-\frac{g}{\mu}\right)x^2}{2\left(1-\frac{1}{\mu}\right)^2 f g^3}$$

$$= + \frac{x^2(f-g)^2(\mu f - g)}{2(1-\mu)^2 f g^3}$$ und

die gesammte Abweichung ist $\Delta f + \delta f =$

$$+\frac{f^2x^2}{2(1-\mu)^2}\left\{\left(\frac{1}{g}-\frac{1}{f}\right)^2\left(\frac{\mu}{g}-\frac{1}{f}\right)\right.$$
$$\left.-\left(\frac{1}{g}+\frac{1}{b}\right)^2\left(\frac{1}{b}+\frac{\mu}{g}\right)\right\}.$$

Diese Formel mufs den Factor $\frac{1}{b}+\frac{1}{f}$ enthalten, weil sie ohne Zweifel $=0$ werden mufs, wenn $\rho = -r$ oder das Glas ein convex-concaves von gleichen Halbmessern ist; alsdann nämlich sind, bei einem so sehr dünnen Glase, die Lichtstrahlen als ungebrochen durchgehend anzusehn und der Punct, von welchem die Strahlen nach dem Durchgange divergiren, ist mit dem leuchtenden Puncte selbst einerlei $f = -b$; die Abweichung wegen der Gestalt aber verschwindet eben deshalb. Wirklich findet sich auch, dafs die Formel sich so darstellen läfst:

$$\Delta f + \delta f = -\frac{f^2x^2}{2(1-\mu)^2}\left(\frac{1}{b}+\frac{1}{f}\right)\left\{\frac{1}{b^2}-\frac{1}{bf}+\frac{1}{f^2}\right.$$
$$\left.+\frac{2\mu+1}{g^2}+\frac{\mu+2}{g}\left(\frac{1}{b}-\frac{1}{f}\right)\right\},$$

oder, da $\frac{1}{b}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}$ ist,

$$= -\frac{f^2x^2}{2F(1-\mu)^2}\left\{\frac{1}{b^2}-\frac{1}{bf}+\frac{1}{f^2}\right.$$
$$\left.+\frac{2\mu+1}{g^2}+\frac{(\mu+2)}{g}\left(\frac{1}{b}-\frac{1}{f}\right)\right\}.$$

Diese Formel läfst sich auch, wenn man für g und f ihre Werthe setzt, so ausdrücken, dafs sie die beiden Radien r, ρ enthält, indem man nämlich $\frac{1}{f}=\frac{1-\mu}{\mu}\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{\rho}\right)-\frac{1}{b}$

und $$\frac{1}{g}=\frac{1-\mu}{r}-\frac{\mu}{b}$$ substituirt.

Der eingeschlossene Factor läfst sich dann mit $(1-\mu)^2$ dividiren und es wird

$$\Delta f + \delta f = -\frac{f^2 x^2}{2F}\left\{\frac{1-2\mu+2\mu^2}{\mu^2 r^2} + \frac{2-2\mu-\mu^2}{\mu^2 r\varrho}\right.$$
$$\left. + \frac{1}{\mu^2\varrho^2} - \frac{3-3\mu-4\mu^2}{\mu b r} - \frac{3+\mu}{\mu b\varrho} + \frac{3+2\mu}{b^2}\right\}.$$

Wenn man hiernach für $\mu = \frac{3}{2}$ rechnet, so ist für diesen besondern Fall und für $b = \infty$ die Abweichung =

$$-\frac{f^2 x^2}{24.F}\left\{\frac{7}{r^2} + \frac{6}{r\varrho} + \frac{27}{\varrho^2}\right\},$$

also, um es mit unsern vorigen Beispielen zu vergleichen, für $r = \varrho$,

$$= -\frac{f^2 x^2}{F}\cdot\frac{5}{3r^2} = -\frac{5f^2 \operatorname{Sin.}^2\psi}{3F} = -\tfrac{5}{3}F \operatorname{Sin.}^2\psi,$$

weil f in diesem Falle = F ist.

Bei der gleichseitigen Linse wäre also, wenn man die Dicke der Linse bei Seite setzt und nur die von $\operatorname{Sin.}^2\psi$ abhängigen Glieder in Betrachtung zieht, die Längen-Abweichung für

$\psi = 1°$	= 0,000508
$\psi = 2°$	= 0,002030
$\psi = 4°$	= 0,008110
$\psi = 8°$	= 0,032282
$\psi = 12°$	= 0,072045,

Zahlen, die mit den oben gefundenen nicht ganz übereinstimmen können, theils weil dort die Dicke des Glases in völliger Strenge berücksichtigt wurde, theils weil unsere jetzige Rechnung die höhern Potenzen von x nicht beachtet. Wenn man auf die Dicke der Linse Rücksicht nimmt, so ist der auf der zweiten Oberfläche abgeschnittene Bogen LM allemal kleiner, als er bei einem sehr dünnen Glase seyn würde; denn wenn $Bd = \gamma$, $Md = \gamma'$, so ist $BM = r \operatorname{Sin. vers.} \gamma + \varrho \operatorname{Sin. vers.} \gamma'$ und $DX - LY$ ist beinahe genau =

$$\operatorname{Sin.}(\varphi - \varphi') + (r \operatorname{Sin. vers.} \gamma - r \operatorname{Sin. vers.} \psi$$
$$+ \varrho \operatorname{Sin. vers.} \gamma' - \varrho \operatorname{Sin. vers.} \psi')$$

nach den frühern Bezeichnungen, was mit

$$\frac{x}{g}\left(\tfrac{1}{2}r\gamma^2 - \tfrac{1}{2}\frac{x^2}{r} + \tfrac{1}{2}\varrho\gamma'^2 - \tfrac{1}{2}\frac{x^2}{\varrho}\right)$$

nahe übereinstimmt. Von dieser Differenz aber hängt es ab, daſs der Winkel LKM bei einem dickeren Glase allemal kleiner ausfällt, und wenn $LKM = \psi'$ ohne Rücksicht auf die Dicke des Glases ist, bei einer nicht so dünnen Linse $\psi' + \Delta\psi'$ hie-

für gesetzt und $\Delta\psi' = \frac{x}{2g\varrho}\left(r\gamma^2 + \varrho\gamma'^2 - \frac{x^2}{r} - \frac{x^2}{\varrho}\right)$ angenommen werden mufs.

Man könnte versuchen, ob der in x^2 multiplicirte Factor in jenem die Abweichung ausdrückenden Gliede verschwinden könne; aber

$$\frac{1}{b^2} - \frac{1}{bf} + \frac{1}{f^2} + \frac{2\mu+1}{g^2} + \frac{\mu+2}{g}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{f}\right) = 0$$

giebt für $\mu = \frac{2}{3}$

$$\frac{1}{g} = -\tfrac{4}{7}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{f}\right) \pm \frac{\sqrt{\left\{-\frac{5}{b^2} - \frac{11}{bf} - \frac{5}{f^2}\right\}}}{7},$$

also für Glas immer unmöglich, wenn b und f einerlei Zeichen haben, und auf jeden Fall unbrauchbar, wenn auch Gegenstand und Bild auf einerlei Seite des Glases liegen. Um den kleinsten Werth, den jener Factor erhalten kann, zu finden, setzt man blofs g veränderlich und sucht, was g wird, wenn man dann beim Differentiiren den in dg multiplicirten Factor $= 0$ setzt. Nenne ich jenen Factor

$$\frac{1}{b^2} - \frac{1}{bf} + \frac{1}{f^2} + \frac{2\mu+1}{g^2} + \frac{\mu+2}{g}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{f}\right) = z,$$

so giebt $\frac{dz}{dg} = o$, $\frac{4\mu+2}{\mu+2} = g\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{b}\right)$, oder für parallele Strahlen $\frac{1}{g} = \frac{\mu+2}{4\mu+2} \cdot \frac{1}{f}$, das ist

$$\frac{1-\mu}{r} = \frac{\mu+2}{4\mu+2}\left(\frac{1-\mu}{\mu}\right)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\varrho}\right), \text{ oder}$$

$$\frac{1}{\varrho} = \frac{1}{r} \cdot \frac{4\mu^2 + \mu - 2}{2 + \mu},$$

und so würde, für $\mu = \frac{2}{3}$, $\varrho = 6r$ werden müssen, um die kleinste Abweichung zu erhalten.

In diesem Falle beträgt für parallele Strahlen die Abweichung $-\frac{35}{96}\frac{F}{r^2}x^2$, oder, da hier $F = \frac{12}{7}r$ ist, $= -\frac{15}{14}\frac{x^2}{F}$.

Für $r = \varrho$ betrüge sie $= -\frac{5}{3}\frac{x^2}{F}$,

für $\varrho = \infty$ und $F = 2r$, $= -\frac{7}{6}\frac{x^2}{F}$.

Gewifs ist so der Fall bestimmt, wo der hier in Betrachtung ge-

zogene Factor am kleinsten wird; aber die ganze Abweichung mufs dann am kleinsten werden, wenn der eindringende Strahl mit der Vorderfläche eben den Winkel, wie der hervorgehende Strahl mit der Hinterfläche macht. Es ist nämlich bekannt, dafs dieses beim Prisma der Fall der kleinsten Brechung ist, und jeder Theil der Linse ist ja als ein Prisma anzusehn. In diesem Falle ist die Neigung der LD gegen beide Radien KL und CD gleich, oder da LH die Verlängerung der LD ist, KLH $=$ $180° - \text{CDH}$, aber $\text{Sin. KLH} = \frac{\text{Sin.H}.(\varrho + g)}{\varrho}$,

$$\text{Sin. CDH} = \frac{\text{Sin.H}.(g - r)}{r},$$

also
$$\frac{\varrho + g}{\varrho} = \frac{g - r}{r}, \text{ das ist}$$

$$\frac{2}{g} = \frac{1}{r} - \frac{1}{\varrho}, \text{ und da zugleich allgemein}$$

$$\frac{1}{g} = \frac{1 - \mu}{r} - \frac{\mu}{b} \text{ ist,}$$

hier
$$\frac{2}{r} - \frac{2\mu}{r} - \frac{2\mu}{b} = \frac{1}{r} - \frac{1}{\varrho},$$

das ist
$$\frac{1}{\varrho} = \frac{2\mu}{r} + \frac{2\mu}{b} - \frac{1}{r},$$

oder für
$$\frac{1}{b} = 0, \; \varrho = r \cdot \frac{1}{2\mu - 1},$$

welches $\varrho = 3r$ giebt, wenn $\mu = \frac{2}{3}$ ist.

Wenn man für eine Linse, deren Gröfse durch $x = F . \text{Sin.} 8°$ ausgedrückt ist, den genauen Weg der durchgehenden Strahlen berechnet, so findet man Folgendes. Wenn hier $\varrho = 6r$, $F = \frac{12}{7} r$ ist, so umfafst die ganze Vorderfläche einen Bogen von 13° 48′ 10″,4, die ganze Hinterfläche einen Bogen von 2° 16′ 44″,0. Strahlen, die der Axe nahe einfallen, vereinigen sich, weil die Dicke der Linse $= 0{,}033613 . r$ ist, in der Entfernung $F = 1{,}69758 . r$, statt dafs die nach der einfachsten Regel berechnete Brennweite $= \frac{12}{7} r = 1{,}71429 r$ ist; die am Rande auffallenden Strahlen kommen da zusammen, wo $F = 1{,}66163 r$ ist, also Längen-Abweichung $= 0{,}03595 r$, das ist $= 0{,}02097 F$.

Wenn $\varrho = 3r$ ist, $F = \frac{3}{2} r$, so vereinigen sich die der Axe nächsten Strahlen da, wo $F = 1{,}48872$ ist; die Strahlen am Rande da, wo $F = 1{,}45616 r$ ist, Abweichung $= 0{,}03256 r =$

0,02171 F. Dieser anscheinende Widerspruch gegen die letzte Behauptung rührt von der gröſsern Dicke der ersten Linse her, wo die Centralstrahlen eine Abweichung $= 0{,}01671 \cdot r = 0{,}00975 \cdot F$ haben, statt daſs diese Abweichung im letzten Falle nur $= 0{,}01128 \cdot r = 0{,}00852 \cdot F$ ist. Bei gleicher Dicke der Linse hätte also dort die Abweichung der Randstrahlen von den Strahlen um die Mitte $0{,}02220 \cdot F$, hier $0{,}02171 \cdot F$ betragen, so daſs sie hier in der That geringer ist.

Ich gehe nun zur Betrachtung der Abweichung wegen der Gestalt beim Durchgange durch zwei Linsen fort. In dem Ausdrucke für die Längen-Abweichung müſste nun statt b der Abstand des ersten Bildes von der zweiten Linse gesetzt werden, also $c - f$ statt b, wenn c den Abstand beider Linsen von einander bedeutet. Hier sollen übrigens r', ϱ' die beiden Halbmesser, μ' das Brechungsverhältniſs, F' die Brennweite der zweiten Linse bedeuten, g' die Vereinigungsweite, wie sie im Innern des zweiten Glases, f' die Vereinigungsweite, wie sie hinter dem zweiten Glase statt findet. Es läſst sich leicht übersehen, daſs x' hier einen von x verschiedenen Werth $= \frac{(c-f)x}{f}$ erhält, wenn man die Linsen nicht als unendlich dünne und dicht hinter einander stehend ansieht, und daſs nach den vorigen Formeln die neue Abweichung für die Strahlen, welche sich genau in dem durch f bestimmten Puncte vereinigen, wird

$$= -\frac{f'^2(c-f)^2x^2}{2(1-\mu')^2 f^2 \cdot F'}\left\{\frac{1}{(c-f)^2} - \frac{1}{f'(c-f)} + \frac{1}{f'^2} + \frac{2\mu'+1}{g'^2} + \frac{\mu+2}{g'}\left(\frac{1}{c-f} - \frac{1}{f'}\right)\right\};$$

für diejenigen Strahlen aber, welche schon in der ersten Linse um die dort gefundene Abweichung $= \Delta f$ sich von diesem Puncte entfernten, würde die gesammte Abweichung aus zwei Gliedern bestehen, nämlich erstlich aus dem eben gefundenen, und zweitens aus der Aenderung, welche die Lage des Bildes erleidet, wenn $c - f$ in $c - f - \Delta f$ übergeht. Nach der Formel $\frac{1}{F'} = \frac{1}{c-f} - \frac{1}{f'}$ ist aber $\Delta f' = -\frac{f'^2}{(c-f)^2}\Delta f$, also, wenn man in den früheren Formeln den ganzen Ausdruck

$$\frac{1}{2(1-\mu)F}\left\{\frac{1}{b^2} - \frac{1}{bf} + \frac{1}{f^2} + \frac{2\mu+1}{g^2} + \frac{\mu+2}{g}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{f}\right)\right\}$$

abgekürzt $= P$ setzt und unter P' eben den auf die zweite

Linse gehörig bezogenen Ausdruck versteht, so ist die gesammte Längen-Abweichung f für Strahlen, die in der Entfernung $= x$ von der Axe auffallen,

$$= -\frac{P f'^2 x^2 f^2}{(c-f)^2} - \frac{P' f'^2 x^2 (c-f)^2}{f^2}$$
$$= -\frac{f'^2 f^2 x^2}{(c-f)^2}\left\{P + \frac{(c-f)}{f^4} P'\right\},$$

weil nämlich das für *eine* Linse gefundene Δf mit $\frac{f'^2}{(c-f)^2}$ multiplicirt vorkommt. Stehen die Linsen ganz nahe aneinander und nimmt man, wie bisher immer geschehen ist, auf die Dicke keine Rücksicht, so ist die gesammte Abweichung, wegen $c = 0$, $= -f'^2 x^2 (P + P')$, und wenn man die Abweichung durch die Radien der Linse ausdrückt, so ist

$$P = \frac{1}{2F}\left\{\frac{1 - 2\mu + 2\mu^3}{\mu^2 r^2} + \frac{2 - 2\mu - \mu^2}{\mu^2 r \varrho} + \frac{1}{\mu^2 \varrho^2} - \frac{1}{\mu b}\left[\frac{3 - 3\mu - 4\mu^2}{r} + \frac{3 + \mu}{\varrho}\right] + \frac{3 + 2\mu}{b^2}\right\}$$

und P' wird ebenso durch F', μ', r', ϱ', $-f$ ausgedrückt.

Wenn man diese Formeln anwenden will, so ist zuerst nöthig, alle blofs von μ und μ' abhängende Coefficienten in Zahlen auszurechnen; denn da sie beständige und bekannte Gröfsen sind, so kann man die Formeln auf diese Weise mit Vortheil abkürzen. Hier wollen wir zuerst einige Beispiele berechnen, wo $\mu = \mu' = \frac{2}{3}$ ist, dann wird $\frac{1}{\mu^2} - \frac{2}{\mu} + 2\mu = \frac{7}{12}$;

$$\frac{2}{\mu^2} - \frac{2}{\mu} - 1 = \frac{1}{2};\quad \frac{1}{\mu^2} = \frac{9}{4};$$
$$\frac{3}{\mu} - 3 - 4\mu = -\frac{7}{6};\quad \frac{3}{\mu} + 1 = \frac{11}{2};$$

$3 + 2\mu = \frac{13}{3}$, und da nun $\frac{1}{f} = \frac{1}{F'} + \frac{1}{F}$ für parallel einfallende Strahlen, dann aber auch $b = \infty$, $f = F$ ist, so erhalten wir die Abweichung $=$

$$-\frac{x^2 F . F'}{(F + F')^2}\left\{\frac{7}{24} \cdot \frac{F'}{r^2} + \frac{1}{4} \cdot \frac{F'}{r\varrho} + \frac{9}{8} \cdot \frac{F'}{\varrho^2} + \frac{7}{24} \cdot \frac{F}{r'^2} + \frac{1}{4} \cdot \frac{F}{r'\varrho'} + \frac{9}{8} \cdot \frac{F}{\varrho'^2} - \frac{7}{12}\frac{1}{r'} + \frac{11}{4} \cdot \frac{1}{\varrho'} + \frac{13}{6} \cdot \frac{1}{F}\right\}.$$

Herschel macht diese Formel dadurch einfacher, dafs er zuerst $F = y . F'$, also $1 + y = \frac{F + F'}{F'}$ setzt, wodurch die Formel wird =

$$- \frac{x^2 F}{(1+y)^2} \left\{ \tfrac{7}{24} \cdot \frac{1}{r^2} + \tfrac{1}{4} \cdot \frac{1}{r\varrho} + \tfrac{9}{8} \cdot \frac{1}{\varrho^2} \right.$$
$$+ \tfrac{7}{24} \cdot \frac{y}{r'^2} + \tfrac{1}{4} \cdot \frac{y}{r'\varrho'} + \tfrac{9}{8} \cdot \frac{y}{\varrho'^2}$$
$$\left. - \tfrac{7}{12} \cdot \frac{y}{F r'} + \tfrac{11}{4} \cdot \frac{y}{F \varrho'} + \tfrac{13}{6} \cdot \frac{y}{F^2} \right\};$$

zweitens setzt er $\frac{1}{r} = \frac{2h}{F}$ und folglich $\frac{1}{\varrho} = \frac{2(1-h)}{F}$,

$$\frac{1}{r'} = \frac{2h'}{F'} = \frac{2h'y}{F}; \quad \frac{1}{\varrho'} = \frac{2(1-h')y}{F},$$

wodurch die Abweichung wird =

$$- \frac{x^2}{6F(1+y)^2} \{ y^3 (28h^2 - 48h' + 27) - (40h' - 33) y^2$$
$$+ 13y + (28h^2 - 48h + 27) \}.$$

Hier liefse sich nun eine Form der einen Linse angeben, wodurch die Abweichung wegen der Gestalt, so fern sie in diesem Gliede ausgedrückt ist, ganz zerstört wird. Herschel versucht dieses für die Voraussetzung, dafs die erste und vierte Fläche Ebenen sind, also $\frac{1}{r} = \frac{1}{\varrho'} = 0$, $h = 0$, $h' = 1$, das führt aber zu der Gleichung $7y^3 - 7y^2 + 13y + 27 = 0$, deren einzige mögliche Wurzel $= -1$ ist, also $F = -F'$ giebt, und also zwei aneinander passende Gläser fordert, die, da sie an den äufsern Flächen parallele Ebenen haben, blofs die Stelle eines Planglases vertreten [1].

Dagegen ist folgendes Beispiel passender. Es sey

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r'} = 0, \text{ also } h = h' = 0, \quad \frac{1}{\varrho} = \frac{2}{F}, \quad \frac{1}{\varrho'} = \frac{2y}{F},$$

dann mufs y aus der Gleichung

$$27y^3 + 33y^2 + 13y + 27 = 0$$

---

1 Herschel findet statt der obigen Gleichung

$$7y^3 - 16y^2 + 13y + 27 = 0,$$

aber schon Santini hat den Fehler in der Zahlenrechnung, der hierbei zum Grunde liegt, bemerkt, der jedoch nur dieses Beispiel, nicht die Formel selbst fehlerhaft macht.

gefunden werden, diese giebt $y = -1{,}392278$, so daſs $F = -1{,}392278 \cdot F'$, also für $F' = 1$, $\varrho' = 0{,}5$, $\varrho = -0{,}696139$. Es ist der Mühe werth, den Strahl durch diese zwei Linsen mit genauer Rechnung zu verfolgen, um zu sehn, wie fern das Verschwinden des hier betrachteten Gliedes ein nahes Verschwinden der Abweichung wegen der Gestalt in der That hervorbringt. Da hier die erste Linse an ihrer Vorderseite eben, an ihrer Hinterseite concav ist, so legen wir ihr am besten in der Mitte gar keine Dicke bei; zwischen dieser Hinterfläche des ersten und der ebnen Vorderfläche des zweiten Glases liegt eine Luftlinse von der Dicke $= \varrho \, . \, \mathrm{Sin.\,vers.}\, \psi'$, wenn die erste Linse bis zum Rande den Bogen ψ' umfaſst; in ihr geht der parallel mit der Axe eingefallene Strahl ein wenig von der Axe abwärts und in der zweiten Glaslinse vergröſsert sich dieser Abstand von der Axe noch um etwas, so daſs der Bogen ψ''', in dessen Endpuncte der Strahl aus der zweiten Linse hervorgeht, gröſser ist, als er bei einer unendlich dünnen Linse seyn würde.

Die Brennweite $= F''$ dieser zusammengesetzten Linse wird durch $\frac{1}{F''} = \frac{1}{F} + \frac{1}{F'} = \frac{0{,}281753}{F'}$ gefunden, $F'' = 3{,}54921 \, F'$. In Beziehung auf die Brennweite der zusammengesetzten Linse haben wir also $F = -0{,}392278 \, . \, F''$; $F' = 0{,}281753 \, . \, F''$; $\varrho = 0{,}196139 \, . \, F''$; $\varrho' = 0{,}140876 \, . \, F''$. Wenn die Linse so viel Oeffnung hat, daſs ihr Halbmesser $= \varrho \, . \, \mathrm{Sin.}\, 8^\circ$ ist, so ist

die Dicke der Luftlinse $= 0{,}0019088$,
Dicke der Glaslinse $= 0{,}002670$,
Halbmesser des Glases oder Oeffnung $= 0{,}0272973$.

Wegen dieser Dicke der Linsen leiden selbst die nahe an der Axe einfallenden Strahlen eine Abweichung von dem nach der einfachen Formel berechneten Brennpuncte, indem für Strahlen, wo $BD = \varphi = 0^\circ\, 15'$, doch $F'' = 0{,}977240$.

Es trifft nämlich dieser Strahl in der Entfernung $= x = 0{,}0008552$ von der Axe, aber indem er unter $7\frac{1}{2}$ Min. Neigung die Luftlinse durchläuft, entfernt er sich um $0{,}0000042$ von der Axe, und indem er in der Glaslinse unter $5'$ Neigung fortgeht, nimmt diese Ablenkung noch um $0{,}0000040$ zu, so daſs $x'' = 0{,}0008637$ ist, welches für den Radius $\varrho' = 0{,}140876$ dem Bogen $= 0^\circ\, 21'\, 4'',6$ zugehört. Der Winkel, den hier der Strahl mit dem Radius macht, ist $= 0^\circ\, 16'\, 4'',6$ und nach der Brechung $= 0^\circ\, 24'\, 6'',9$, so daſs $F'' = 0{,}977240$.

Der am Rande der ersten Linse auffallende und durch sie ungebrochen durchgehende Strahl trifft die zweite Oberfläche so, dafs der Einfallswinkel $= 8^\circ$ ist; diese Linse allein würde für die Randstrahlen $F = -0{,}383657 \,.\, F''$ geben; nach der ersten Brechung in der zweiten Linse ergäbe sich $g' = -0{,}579154 \,.\, F''$ und endlich $F'' = 0{,}975956$, also nur noch eine Abweichung $= 0{,}00128 \,.\, F''$ für die äufsersten Randstrahlen. Strahlen, die mitten zwischen der Axe und dem Rande auffielen, gäben $F'' = 0{,}976680$, also Abweichung $= 0{,}00056 \,.\, F''$. Die gefundene Zusammensetzung zweier Linsen von ganz gleichen durchsichtigen Körpern leistet also dem Zwecke, die aus der sphärischen Gestalt entspringende Längen-Abweichung zu zerstören, ziemlich nahe Genüge, und eine geringe Abänderung des ϱ' würde zeigen, wie man den Zweck noch vollkommener erreichen kann.

Noch ein zweites Beispiel mag hier, immer noch auf gleichartige Gläser bezogen, in welchen $\mu = \frac{2}{3}$ ist, Platz finden. Es sey die erste Linse die vorhin betrachtete, deren einer Halbmesser dreimal so grofs als der andre, $\varrho = 3r$ ist. Ich will in den Formeln $y = -\frac{1}{2}$ annehmen; dann wird $h = \frac{3}{4}$ und der $= 0$ zu setzende Factor geht in folgenden über;

$$-\tfrac{1}{8}(28h'^2 - 48h' + 27) - \tfrac{1}{4}(40h' - 33)$$
$$-\tfrac{13}{8} + \tfrac{28 \cdot 9}{16} - \tfrac{48 \cdot 3}{4} + 27 = 0;$$

oder $28h'^2 + 32h' = 41$, woraus $h' = +0{,}7667852$, oder auch $= -1{,}9096424$ folgt. Wird also $F'' = 1$ gesetzt, so soll $\frac{1}{F} + \frac{1}{F'} = 1$, und hier $\frac{1}{F} - \frac{1}{2F} = 1$, $F = \frac{1}{2}$, $F' = -1$ seyn; aber $r = \frac{1}{2}$, $\varrho = 1$; $r' = -\frac{F}{h'}$; $\varrho' = -\frac{F}{1-h'}$. Daraus folgt, wenn ich den ersten Werth für h' nehme,

$$r' = -0{,}652073,$$
$$\varrho' = -2{,}143947.$$

Die zweite Linse ist also concav-concav, mit der flachen Seite vom Gegenstande abgewandt.

Wir nahmen vorhin den Halbmesser der Linse $= F \,.\, \text{Sin.}\, 8^\circ$ an, statt dessen setze ich hier $= F'' . \text{Sin.}\, 8^\circ = 0{,}139173\, F''$; da aber der Halbmesser der Vorderfläche $r = \frac{1}{2}$ ist, so umfafst diese Breite hier sehr viele Grade, nämlich $24^\circ\, 40'\, 41'',0$, und wir erhalten folgende Zahlen. Ich nenne φ, φ' den Einfallswinkel und Brechungswinkel an der ersten Fläche; φ'', φ''' an

der zweiten; φ^{IV}, φ^{V} an der dritten; φ^{VI}, φ^{VII} an der vierten Oberfläche, g die Entfernung von der Oberfläche, wo die Strahlen, im ersten Glase fortgehend, die Axe treffen würden, F die Entfernung von der Hinterfläche des ersten Glases, wo die aus dieser Linse hervorgehenden Strahlen die Axe treffen würden, g' und F'' eben das für die zweite Linse.

φ φ'	φ'' φ'''	g F	φ^{IV} φ^{V}	φ^{VI} φ^{VII}	g' F''
$\varphi = 0^\circ.15'$.	$\varphi'' = 0.\ 9.48,0$	$g = 1,000000$	$\varphi^{\text{IV}} = 0.17.10,8$	$\varphi^{\text{VI}} = 0.\ 1.57,4$	$g' = 1,138912$
$\varphi' = 0^\circ.10'$.	$\varphi''' = 0.14.42,0$	$F = 0,484848$	$\varphi^{\text{V}} = 0.11.27,2$	$\varphi^{\text{VII}} = 0.\ 2.56,1$	$F'' = 0,922501$
$\varphi = 6^\circ.\ 0'.\ 0''$	$\varphi'' = 3.55.29,9$	$g = 0,997582$	$\varphi^{\text{IV}} = 6.53.18,0$	$\varphi^{\text{VI}} = 0.47.13,5$	$g' = 1,136960$
$\varphi' = 3.\ 59.45,4$	$\varphi''' = 5.53.35,5$	$F = 0,482174$	$\varphi^{\text{V}} = 4.35.\ 9,9$	$\varphi^{\text{VII}} = 1.10.35,3$	$F'' = 0,920618$
$\varphi' = 12.\ 0.\ 0$	$\varphi'' = 7.52.57,6$	$g = 0,990309$	$\varphi^{\text{IV}} = 13.52.48,7$	$\varphi^{\text{VI}} = 1.34.19,3$	$g' = 1,135661$
$\varphi = 7.58.\ 2,2$	$\varphi''' = 11.52.17,6$	$F = 0,474188$	$\varphi^{\text{V}} = 9.12.\ 9,9$	$\varphi^{\text{VII}} = 2.21.30,4$	$F'' = 0,915019$
$\varphi = 18.\ 0.\ 0$	$\varphi'' = 11.54.28,8$	$g = 0,978364$	$\varphi^{\text{IV}} = 21.\ 5.34,3$	$\varphi^{\text{VI}} = 2.21.38,6$	$g' = 1,135110$
$\varphi' = 11.53.19,3$	$\varphi''' = 18.\ 1.46,9$	$F = 0,460733$	$\varphi^{\text{V}} = 13.52.54,6$	$\varphi^{\text{VII}} = 3.32.32,5$	$F'' = 0,918100$
$\varphi = 24.\ 0.\ 0$	$\varphi'' = 16.\ 2.33,8$	$g = 0,961845$	$\varphi^{\text{IV}} = 28.40.\ 5,3$	$\varphi^{\text{VI}} = 3.\ 8.\ 6,6$	$g' = 1,137925$
$\varphi' = 15.43.59,4$	$\varphi''' = 24.29.23,2$	$F = 0,441382$	$\varphi^{\text{V}} = 18.39.36,0$	$\varphi^{\text{VII}} = 4.42.20,4$	$F'' = 0,920364$

Diese Zahlen zeigen, in wie starkem Grade hier die Fehler der ersten Linse corrigirt sind; denn wenn man ΔF als Abweichung der ersten Linse von den Centralstrahlen und $\Delta F''$ als Abweichung für die zusammengesetzte Linse berechnet, so hat man

	$\frac{\Delta F}{F}$	$\frac{\Delta F''}{F''}$
für $\varphi = 6°$	0,00551	0,00204,
für $\varphi = 12°$	0,02199	0,00811,
für $\varphi = 18°$	0,04974	0,00477,
für $\varphi = 24°$	0,08965	0,00232,

also die Abweichung am Rande fast so geringe, als sie bei 6° war, und abnehmend in dieser Gegend [1].

Berechnungen über achromatische und aplanatische Linsengläser aus zwei Glaslinsen.

In den vorigen Betrachtungen sind die Grundlagen angegeben, auf welche man die Berechnung der von aller Abweichung möglichst freien Objective zu bauen pflegt, indem, wenn alle Farbenstrahlen in einem Puncte vereinigt sind, ein achromatisches Glas zu Stande gebracht wird, und ein aplanatisches, von aller Abweichung freies Glas, wenn beide Arten der Abweichung vermieden werden. Dafs diese nicht ganz aufgehoben werden, wenn man nach Formeln rechnet, die weder die Dicke des Glases, noch die höheren Potenzen von x berücksichtigen, ist zwar gewifs, auch läfst sich übersehen, dafs nicht für alle Puncte eine völlige Aufhebung der Abweichung möglich ist, und es müssen noch manche andere Umstände, nämlich die ungleiche Erleuchtungskraft der einzelnen Farbenstrahlen, der Grad der Erleuchtung, den das Bild durch jeden einzelnen Theil des Objectives erhält u. s. w., in Betrachtung gezogen werden; aber dennoch wird es gut seyn, zu sehen, was denn unsre bisher gefundenen Formeln leisten.

Wir müssen hier zuerst zu den Formeln zurückgehen, welche aus der gegebenen Brechung und Zerstreuung in zwei ver-

---

1 Die Zahlenrechnung dieses Beispiels ist zwar nur einmal gemacht, doch hoffe ich, dafs sie von Fehlern frei ist.

schiedenen Glasarten das Verhältnifs der Brennweiten beider Linsen bestimmen lehrten. Sie geben

$$F' = -F \cdot \frac{\Delta \mu'}{\left(\frac{1}{\mu'} - 1\right)} \cdot \frac{\left(\frac{1}{\mu} - 1\right)}{\Delta \mu},$$

und da die Focallänge der vereinigten Linsen F'' durch

$$\frac{1}{F''} = \frac{1}{F} + \frac{1}{F'}$$

gegeben wird, so ist, wenn man $F' = -F \cdot \frac{\Delta \nu'}{\Delta \nu}$ setzt,

$$\frac{1}{F''} = \frac{1}{F} - \frac{\Delta \nu}{F \Delta \nu'} = \frac{1}{F}\left(\frac{\Delta \nu' - \Delta \nu}{\Delta \nu'}\right).$$

Dem Zwecke des Fernrohres gemäfs mufs F'' einen positiven Werth haben, damit sich ein wirkliches Bild darstelle. Soll also F positiv oder das dem Gegenstande zugewandte Glas ein convexes seyn, so mufs $\Delta \nu' > \Delta \nu$ seyn, das heifst, die Zerstreuung mufs im zweiten Glase, welches eine negative Brennweite erhält, gröfser seyn. Aus diesem Grunde ist die Flintglaslinse die concave, die für sich allein die Lichtstrahlen zerstreuen würde.

Nach Fraunhofer's Versuchen ist $\frac{\Delta \nu'}{\Delta \nu}$ eine sehr bedeutend verschiedene Gröfse, je nachdem man seine Aufmerksamkeit auf verschiedene Strahlen richtet. Er fand zum Beispiel für vier verschiedene Lichtstrahlen, die ich mit B, D, E, G bezeichnen will, im Kronglase für B 1,525832, für D 1,529587, für E 1,533005, für G 1,541657, und im Flintglase für B 1,627749, für D 1,635036, für E 1,642024, für G 1,660285. Das gäbe für B und D in jenem $\frac{\Delta \mu}{\frac{1}{\mu} - 1} = \frac{0{,}003755}{0{,}527710} = 0{,}0071157$, in diesem $\frac{\Delta \mu'}{\frac{1}{\mu'} - 1} = \frac{0{,}007287}{0{,}631392} = 0{,}0115411$, also $\frac{\Delta \nu'}{\Delta \nu} = 1{,}6219$;

für E und G in jenem $\frac{\Delta \mu}{\frac{1}{\mu} - 1} = \frac{0{,}008652}{0{,}537331} = 0{,}0161018$, in diesem $= \frac{0{,}018261}{0{,}651164} = 0{,}0280404$, also $\frac{\Delta \nu'}{\Delta \nu} = 1{,}7414$.

Nach Fraunhofer's Versuchen ist es für diese Glasarten am

besten, $\frac{\Delta\mu'}{\Delta\mu} = 1{,}98$ zu setzen, also $\frac{\Delta\nu'}{\Delta\nu} = 1{,}98 \cdot \frac{0{,}53}{0{,}6354}$, wenn ich μ und μ' ungefähr den mittlern und hellsten Strahlen angemessen nehme $= 1{,}651$. Da SANTINI diese Zahl, indem er andere Beobachtungen FRAUNHOFER's zum Grunde legt, $= 1{,}650853$[1] findet, so will ich diese Zahl beibehalten, um meine fernere Rechnung desto bequemer mit einem von ihm berechneten Beispiele[2] zu vergleichen. Soll ein aus diesen beiden Glasarten zusammengesetztes Objectiv die Brennweite $F'' = 1$ geben, so mufs $F = 1 - \frac{\Delta\nu}{\Delta\nu'} = 0{,}394253$ und $F' = -0{,}650853$ seyn. Wenn ich dieses in den für die Abweichung gefundenen Formeln anwenden will, so müfsten zuerst in den Formeln

$$P = \frac{1}{2F}\left\{\frac{1-2\mu+2\mu^3}{\mu^2 r^2} + \frac{2-2\mu-\mu^2}{\mu^2 r\varrho} + \frac{1}{\mu^2\varrho^2} - \frac{1}{\mu b}\left[\frac{3-3\mu-4\mu^2}{r} + \frac{3+\mu}{\varrho}\right] + \frac{3+2\mu}{b^2}\right\} \quad \text{und}$$

$$P' = \frac{1}{2F'}\left\{\frac{1-2\mu'+2\mu'^3}{\mu'^2 r'^2} + \frac{2-2\mu'-\mu'^2}{\mu'^2 r'\varrho'} + \frac{1}{\mu'^2\varrho'^2} + \frac{1}{\mu' f}\left[\frac{3-3\mu'-4\mu'^2}{r'} + \frac{3+\mu'}{\varrho'}\right] + \frac{3+2\mu'}{f^2}\right\}$$

die von μ und μ' abhängenden Coefficienten in Zahlen berechnet werden, wobei ich, wie SANTINI, $\frac{1}{\mu} = 1{,}530000$, $\frac{1}{\mu'} = 1{,}634494$ annehme. Es ergiebt sich

$$\frac{1}{\mu^2} - \frac{2}{\mu} + 2\mu = 0{,}588090;$$

$$\frac{2}{\mu^2} - \frac{2}{\mu} - 1 = 0{,}621800,$$

$$\frac{1}{\mu^2} = 2{,}340900,$$

$$\frac{1}{\mu'^2} - \frac{2}{\mu'} + 2\mu' = 0{,}626203,$$

$$\frac{2}{\mu'^2} - \frac{2}{\mu'} - 1 = 1{,}074156,$$

$$\frac{1}{\mu'^2} = 2{,}671572,$$

---

1 1,650833 ist bei SANTINI ein Druckfehler.

2 Teorica degli stromenti ottici T. I. p. 154.

$$\frac{3}{\mu'} - 3 - 4\mu' = - 0{,}543758,$$
$$\frac{3}{\mu'} + 1 = 5{,}903482,$$
$$3 + 2\mu' = 4{,}223620.$$

Da ich die Linsen als ganz nahe an einander stehend und die einfallenden Strahlen als parallel ansehe, so muſs $P + P' = 0$ seyn, und $f = F$, $b = \infty$, also $0 =$

$$\frac{1}{0{,}788506}\left\{\frac{0{,}588090}{r^2} + \frac{0{,}621800}{r\varrho} + \frac{2{,}340900}{\varrho^2}\right\}$$
$$- \frac{1}{1{,}301706}\left\{\frac{0{,}626203}{r'^2} + \frac{1{,}074156}{r'\varrho'} + \frac{2{,}671572}{\varrho'^2}\right.$$
$$\left. - \frac{0{,}543758}{0{,}394253 \,.\, r'} + \frac{5{,}903482}{0{,}394253 \,.\, \varrho'} + \frac{4{,}223620}{0{,}155435}\right\}.$$

Um nun das von Santini berechnete Beispiel zu berechnen, nehme ich, nach Fraunhofer's Anleitung, $r : \varrho = 5 : 2$, und damit sodann $\frac{1}{F} = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\varrho}\right)$
$= \frac{1}{0{,}394253}$ werde, muſs $0{,}53 \,.\, 0{,}394253 = \frac{r \,.\, \varrho}{r + \varrho} = \frac{2r}{7}$ seyn, das ist $r = 0{,}731339$, $\varrho = 0{,}292536$.

Die letzte $= 0$ werdende Gleichung giebt also

$$0 = 39{,}771581 - \frac{0{,}481063}{r'^2}$$
$$- \frac{8{,}251909}{r'\varrho'} - \frac{2{,}052361}{\varrho'^2}$$
$$+ \frac{1{,}059541}{r'} - \frac{11{,}503244}{\varrho'} - 20{,}874840.$$

Es sey $\frac{1}{\varrho'} = \frac{n-1}{r'}$, also $\frac{1}{F'} = \frac{0{,}634494 \,.\, n}{r'}$, oder

$$\frac{1}{r'} = \frac{1}{n \,.\, F' \,.\, 0{,}634494}$$
$$= \frac{2{,}421528}{n},$$
$$\frac{1}{\varrho'} = 2{,}421528 - \frac{2{,}421528}{n}.$$

Wenn man diese Werthe in die Gleichung setzte, so erhielte man eine quadratische Gleichung für $\frac{1}{n}$; aber da Santini schon

die Werthe von r' und ϱ' angegeben hat, so will ich diese nur (weil seine Rechnung etwas anders geführt ist) prüfen. SANTINI giebt an $r' = -0{,}298143$, $\varrho' = +1{,}072360$. Die einzelnen Glieder werden dann

$$\begin{array}{r} -\ \ 5{,}411936 \\ -\ \ 1{,}784731 \\ -\ \ 3{,}553502 \\ -\ 10{,}727035 \\ -\ 20{,}874840 \\ \hline -\ 42{,}352044\,, \end{array}$$

also wenigstens bis auf einige Zehntausendel genau. FRAUNHOFER's Fernröhre stimmten hiermit nicht ganz überein, indem z. B. das von PRECHTL angeführte[1] ungefähr $r' = 0{,}2984$ und $\varrho' = 1{,}3301$ geben würde. Will man nun ohne alle willkürliche Voraussetzung die Gestalt der einen Linse berechnen, so muſs man noch eine Gleichung aufstellen. HERSCHEL thut dieses dadurch, daſs er in der Gleichung, wo b als Entfernung des Gegenstandes vorkam, die mit $\frac{1}{b}$ multiplicirten Glieder als für sich verschwindend ansieht, und also die Forderung macht, daſs auch für die aus einem nähern Puncte kommenden Lichtstrahlen die vollkommene Vereinigung statt finde. Die aus dieser Voraussetzung hervorgehenden Bestimmungen geben, wie nicht bloſs aus HERSCHEL's eigener Entwickelung, sondern auch aus SANTINI's Prüfung hervorgeht, sehr vollkommene Gläser, wovon ich später das Nöthige anführen will. Vorher scheint es mir angemessen, bei der noch weniger angewandten, von GAUSS vorgeschlagenen Methode zu verweilen, die, dem Principe nach, vor jener den Vorzug zu verdienen scheint. Sehr selten nämlich wenden wir das Fernrohr bei so nahen Gegenständen an, daſs $\frac{1}{b}$ als eine noch irgend erhebliche Zahl vorkäme, und es scheint daher, als könne uns nicht so sehr viel daran liegen, ob in diesen seltenen Fällen die Abirrung wegen der Gestalt für die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit gehoben ist; dagegen ist es sehr wichtig, daſs auch die

---

1 PRECHTL's Dioptrik S. 95. Diese Ungleichheit der Bestimmungen rührt ohne Zweifel davon her, daſs ich hier nur auf eine einzige Correction Rücksicht genommen habe.

gegen den Rand des Glases hinfallenden Strahlen, ihrer ungleichen Brechbarkeit ungeachtet, in eben dem Puncte vereiniget werden, wo die Strahlen nahe an der Axe sich vereinigen, und dieses zu erreichen ist der Zweck der von GAUSS vorgeschlagenen Berechnung.

Um seine Anleitung zu befolgen, muſs man daher zuerst, wie wir schon gethan haben, aus dem Verhältnisse der Zerstreuung beider Gläser ihre Brennweite ableiten, so daſs F, F' bekannte oder auf die Brennweite $F'' = 1$ der zusammengesetzten Linse zurückgeführte Gröſsen sind; dann aber muſs man in der Gleichung, welche r, ϱ, r', ϱ' enthält, zwar einmal diejenigen Werthe von μ, μ' setzen, welche den mittleren Strahlen entsprechen, dann aber eine zweite, genau ebenso gebildete Gleichung entwickeln, in welcher μ, μ' die den äuſsersten Strahlen entsprechenden Werthe erhalten (oder denjenigen Strahlen entsprechend, die man streng mit den mittlern zu verbinden beabsichtigt). So erhält man zwei Gleichungen, worin man statt r, ϱ, r', ϱ' nur zwei unbekannte Gröſsen erhält, wenn man vermittelst der Brennweiten ϱ durch r und ϱ' durch r' ausdrückt.

Ich setze, um etwas kürzere Ausdrücke zu erhalten, unter der Voraussetzung, daſs $\frac{1}{b} = 0$ sey,

$$P + P' = \frac{1}{2F}\left\{\frac{A}{r^2} + \frac{B}{r\varrho} + \frac{C}{\varrho^2}\right\}$$

$$= \frac{1}{2F'}\left\{\frac{A'}{r'^2} + \frac{B'}{r'\varrho'} + \frac{C'}{\varrho'^2} + \frac{D'}{r'} + \frac{E'}{\varrho'} + H'\right\};$$

wo dann $A = \frac{1}{\mu^2} - \frac{2}{\mu} + 2\mu$;

$$B = \frac{2}{\mu^2} - \frac{2}{\mu} - 1;$$

$$C = \frac{1}{\mu^2};$$

$$A' = \frac{1}{\mu'^2} - \frac{2}{\mu'} + 2\mu';$$

$$B' = \frac{2}{\mu'^2} - \frac{2}{\mu'} - 1;$$

$$C' = \frac{1}{\mu'^2};$$

$$D' = \frac{1}{F}\left(\frac{3}{\mu'} - 3 - 4\mu'\right);$$

$$E' = \frac{1}{F}\left(\frac{3}{\mu'} + 1\right);$$

$$H' = \frac{1}{F^2}(3 + 2\mu').$$

Da $\frac{1}{r} + \frac{1}{\varrho} = \frac{1}{F} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{\mu} - 1\right)}$ eine gegebene Gröfse ist, die ich $= G$ setzen will, so ist $\frac{1}{\varrho} = G - \frac{1}{r}$; und ebenso $\frac{1}{\varrho'} = G' - \frac{1}{r'}$, und $P + P' = 0$. Dieses giebt folgende Gleichung:

$$\frac{(A - B + C)}{2F}\frac{1}{r^2} + \frac{(B - 2C)G}{2F} \cdot \frac{1}{r}$$
$$+ \frac{(A' - B' + C')}{2F'} \cdot \frac{1}{r'^2} + \frac{(B' - 2C')G' + D' - E'}{2F'} \cdot \frac{1}{r'}$$
$$+ \frac{CG^2}{2F} + \frac{C'G'^2}{2F'} + \frac{E'G'}{2F'} + \frac{H'}{2F'} = 0.$$

Diese sollte mit einer ganz ähnlichen, worin aber μ und μ' andre Werthe hätten, verbunden werden, damit man r oder r' eliminiren könne; indefs wird es wohl ebenso gut seyn, statt der Gleichung vom vierten Grade, die dann hervorginge, die zwei Gleichungen so aufzulösen, dafs man nach und nach verschiedene Werthe für $\frac{1}{r}$ setzt und durch Interpolation denjenigen findet, der beiden Gleichungen Genüge thut.

Vor allem also sind die Zahlenwerthe von A, B u. s. w. anzugeben. Damit ich hier mich sogleich an das von Gauss berechnete Beispiel anschliefse, nehme ich[1]

für die mittleren Strahlen $\frac{1}{\mu} = 1{,}515162$,

$\frac{1}{\mu'} = 1{,}601770$,

für die äufsersten Strahlen $\frac{1}{\mu''} = 1{,}504348$,

$\frac{1}{\mu'''} = 1{,}581810$,

---

1 Zeitschrift für Astron. von v. Lindenau und v. Bohnenberger I. 280.

$$\text{also } \frac{\Delta \cdot \frac{1}{\mu}}{\frac{1}{\mu} - 1} = \frac{0{,}010814}{0{,}515162} = 0{,}0209915 = \text{num. log. } 8{,}3220426,$$

$$\frac{\Delta \cdot \frac{1}{\mu'}}{\frac{1}{\mu'} - 1} = \frac{0{,}019960}{0{,}601770} = 0{,}0331688 = \text{num. log. } 8{,}5207300,$$

$$\text{der Quotient } \frac{\Delta \nu'}{\Delta \nu} = -\frac{F'}{F} = 1{,}5801104.$$

Es sey $F'' = 1$, die Brennweite des zusammengesetzten Objectivs, so soll

$$\frac{1}{F} + \frac{1}{F'} = \frac{1}{F}\left(1 - \frac{1}{1{,}5801104}\right) = 1$$

seyn, also $F = 0{,}367133$, $F' = 0{,}580111$.

Da $\mu = 0{,}6599955$,
$\mu' = 0{,}6243094$, so ist

$$A - B + C = 1 + 2\mu = 2{,}3199910,$$
$$A' - B' + C' = 1 + 2\mu' = 2{,}2486188,$$
$$B - 2C = -\frac{2}{\mu} - 1 = -4{,}030324,$$
$$B' - 2C' = -\frac{2}{\mu'} - 1 = -4{,}203540,$$
$$D' - E' = \frac{1}{F}(-4 - 4\mu') = -\frac{1}{F} \cdot 6{,}4972376$$
$$= -17{,}697230.$$

$G = 5{,}287286$; $G' = -2{,}864565$.

$$\frac{(B - 2C)G}{A - B + C} = -9{,}185152;$$
$$\frac{(A' - B' + C')F}{(A - B + C)F'} = -0{,}613397;$$
$$\frac{(B' - 2C')G'.F}{(A - B + C)F'} = -3{,}284732;$$
$$\frac{(D' - E')F}{(A - B + C)F'} = +4{,}827602;$$
$$\frac{C\,G^2}{A - B + C} = +27{,}662880;$$
$$\frac{C'.G'^2.F}{F'(A - B + C)} = -5{,}743060;$$

$$\frac{E' G'.F}{F' (A - B + C)} = + 12{,}356246;$$

$$\frac{H'.F}{F' (A - B + C)} = - 8{,}598588.$$

Die Gleichung zwischen r und r' ist also

$$\frac{1}{r^2} - 9{,}185152 . \frac{1}{r} + 25{,}677478$$

$$- 0{,}613397 . \frac{1}{r'^2} + 1{,}542870 . \frac{1}{r'} = 0.$$

Man mufs nun eben diese Ausdrücke noch einmal so berechnen, dafs man

$$\frac{1}{\mu''} = 1{,}504348, \text{ statt } \frac{1}{\mu},$$

$$\frac{1}{\mu'''} = 1{,}581810, \text{ statt } \frac{1}{\mu'},$$

$$\mu'' = 0{,}6647397, \mu''' = 0{,}6321873 \text{ setzt,}$$

G und G' aber ungeändert läfst. Dadurch ist also $F\left(\frac{1}{\mu''} - 1\right)$

$$= \frac{1}{G_{,}}, \frac{1}{G'} = F'\left(\frac{1}{\mu'''} - 1\right) \text{ und}$$

$$F = 0{,}375005,$$

$$F' = 0{,}600012,$$

$$A - B + C = 2{,}3294794,$$

$$A' - B' + C' = 2{,}2643746,$$

$$B - 2C = - 4{,}008696,$$

$$B' - 2C' = - 4{,}163620,$$

$$D' - E' = - \frac{6{,}5287492}{F} = 17{,}409773,$$

$$G = 5{,}287286,$$

$$G' = - 2{,}864565,$$

$$\frac{(B - 2C)\ G}{A - B + C} = - 9{,}098652,$$

$$\frac{(A' - B' + C')\ F}{(A - B + C)\ F'} = - 0{,}607528,$$

$$\frac{(B' - 2C')\ G'.F}{(A - B + C)\ F'} = - 3{,}199982,$$

$$\frac{(D' - E')\ F}{(A - B + C)\ F'} = + 4{,}671010,$$

$$\frac{C\ G^2}{A - B + C} = + 27{,}158356,$$

$$\frac{C' \; G'^2 \; F}{F' \; (A - B + C)} = - 5{,}508630,$$

$$\frac{E'.G'.F}{F' \; (A - B + C)} = \frac{5{,}745430 . G'}{F'(A-B+C)} = 11{,}775033,$$

$$\frac{H'.F.}{F' \; (A - B + C)} = \frac{4{,}2643746}{F.F'.(A-B+C)} = - 8{,}135784.$$

Die zweite Gleichung wird also

$$\frac{1}{r^2} - 9{,}098652 . \frac{1}{r} + 25{,}288975 - 0{,}607528 . \frac{1}{r'^2} + 1{,}471028 . \frac{1}{r'} = 0.$$

Beide Gleichungen von einander subtrahirt geben:

$$0{,}086500 . \frac{1}{r} + 0{,}005869 . \frac{1}{r'^2} - 0{,}071842 . \frac{1}{r'} - 0{,}388503 = 0,$$

oder $\frac{1}{r} = 4{,}491363 + 0{,}830543 . \frac{1}{r'} - 0{,}067850 \frac{1}{r'^2}$.

Dieser Werth in die letzte Gleichung gesetzt giebt:

$$\left.\begin{array}{r} 25{,}288975 + 1{,}471028 . \frac{1}{r'} - 0{,}607528 . \frac{1}{r'^2} \\ -40{,}865350 - 7{,}556822 . \frac{1}{r'} + 0{,}617344 . \frac{1}{r'^2} \\ +20{,}172340 + 7{,}460542 . \frac{1}{r'} + 0{,}689802 . \frac{1}{r'^2} \\ - 0{,}609478 . \frac{1}{r'^2} \\ - 0{,}056352 . \frac{1}{r'^3} . 2 + 0{,}004604 . \frac{1}{r'^4} \end{array}\right\} = 0$$

$$+ 4{,}595965 + 1{,}374748 . \frac{1}{r'} + 0{,}090140 . \frac{1}{r'^2} - 0{,}112704 . \frac{1}{r'^3} + 0{,}004604 . \frac{1}{r'^4} = 0,$$

und dieses ist eben die gesuchte Gleichung vom vierten Grade.

Hieraus folgt $\frac{1}{r'} = 5{,}57106$, und diese Wurzel giebt die Summe der Gleichung bis zur 5ten Stelle richtig, und wenn man $\frac{1}{r} = 7{,}01267$ setzt, so wird beiden Gleichungen näher als

mit SANTINI's Auflösung Genüge gethan[1]. Es wird ferner

$$\frac{1}{\varrho} = -1{,}725384$$

$$\frac{1}{\varrho'} = -8{,}435625,$$

also

$$r = 0{,}14260$$
$$\varrho = -0{,}57958$$
$$r' = 0{,}17950$$
$$\varrho' = -0{,}11854.$$

Nehme ich ϱ' dem von GAUSS angenommenen Werthe gleich $= 2807{,}32$ an, so geben diese hier berechneten Zahlen folgende Werthe:

$$r = 3376{,}97$$
$$\varrho = -13725{,}4$$
$$r' = 4250{,}82$$
$$\varrho' = 2807{,}32;$$

es scheint also, daſs SANTINI Recht hat, in ϱ einen Druckfehler in den von GAUSS angegebenen Werthen zu vermuthen, wenn nicht etwa dort noch andre Correctionen in Betrachtung gezogen sind.

Um die Gauſsischen Berechnungen auf eben die Fälle anzuwenden, welche HERSCHEL hat, setze ich

für mittlere Strahlen im Kronglas $1{,}524 = \frac{1}{\mu}$,

für mittlere Strahlen im Flintglas $1{,}585 = \frac{1}{\mu'}$,

$\frac{\Delta v}{\Delta v'} = 0{,}5$. Nehme ich also für Kronglas $\Delta v = 0{,}021$, so ist

$$\Delta v' = 0{,}042$$

$$\Delta \frac{1}{\mu} = 0{,}021 \,.\, 0{,}524 = 0{,}011004$$

$$\Delta \frac{1}{\mu'} = 0{,}042 \,.\, 0{,}585 = 0{,}024570,$$

---

1 SANTINI findet nämlich

$$\frac{1}{r'} = 5{,}570868,$$
$$\frac{1}{r} = 7{,}011904;$$
$$r = 0{,}142615,$$
$$\varrho = -0{,}579839,$$
$$r' = 0{,}179521,$$
$$\varrho' = -0{,}118555.$$

also für rothe Strahlen $\begin{cases} 1{,}512996 = \frac{1}{\mu''} \\ 1{,}560430 = \frac{1}{\mu'''} \end{cases}$

$$-\frac{F'}{F} = 2{,}00000,$$

F für mittlere Strahlen $= \frac{1}{2}$,

$F' = -1$.

$$\mu = 0{,}656168; \quad \mu' = 0{,}6309148.$$

$$A - B + C = 2{,}312336$$
$$A' - B' + C' = 2{,}2618296$$
$$B - 2C = -4{,}048$$
$$B' - 2C' = -4{,}170.$$
$$D' - E' = -\frac{1}{F}.6{,}5236592 = -13{,}0473184$$
$$G = 3{,}8167939, \quad G' = -1{,}7094017.$$
$$\frac{(B - 2C)\,G}{A - B + C} = -6{,}681720.$$
$$\frac{(A' - B' + C')\,F}{(A - B + C)\,F'} = -0{,}4890789.$$
$$\frac{(B' - 2C')\,G'.F}{(A - B + C)\,F'} = -1{,}5413428.$$
$$\frac{(D' - E')\,F}{(A - B + C)\,F'} = +2{,}8212419.$$
$$\frac{C\,G^2}{A - B + C} = +14{,}6324286.$$
$$\frac{C'\,G'^2\,F}{F'\,(A - B + C)} = -1{,}58732501.$$
$$\frac{E'\,G'\,F}{F'\,(A - B + C)} = +4{,}25440195.$$
$$\frac{H'\,F}{F'.(A - B + C)} = -3{,}6861681.$$

Die erste Gleichung wird also:

$$\frac{1}{r^2} - 6{,}6817200\,.\,\frac{1}{r} + 13{,}6133374 - 0{,}4890789\,.\,\frac{1}{r'^2}$$
$$+ 1{,}2798991\,.\,\frac{1}{r'} = 0.$$

Damit für die rothen Strahlen G ungeändert bleibe, muſs für sie

$$F = \frac{1}{3,8167939 \,.\, 0,512996} = 0,5107252,$$

$$F' = \frac{1}{1,7094017 \,.\, 0,560430} = 1,0438413$$

seyn. $\mu'' = 0,6609403;\ \mu''' = 0,6408490.$

$$A - B + C = 2,3218806.$$

$$A' - B' + C' = 2,2816980.$$

$$B - 2C = 4,025992.$$

$$B' - 2C' = 4,120860.$$

$$D' - E' = -\frac{6,5633960}{F}.$$

$$\frac{(B - 2C)\,G}{A - B + C} = -6,6180757.$$

$$\frac{(A' - B' + C')\,F}{(A - B + C)\,F'} = -0,4808074.$$

$$\frac{(B' - 2C')\,G'\,F}{(A - B + C)\,F'} = -1,4843796.$$

$$\frac{(D' - E')\,F}{(A - B + C)\,F'} = +2,7080350.$$

$$\frac{C\,G^2}{A - B + C} = 14,362601.$$

$$\frac{C'\,G'^2\,F}{F'(A - B + C)} = -1,4993044.$$

$$\frac{E'\,G'\,F}{F'(A - B + C)} = +4,0069745.$$

$$\frac{H'\,F}{F'(A - B + C)} = -3,4590304.$$

Die zweite Gleichung:

$$\frac{1}{r^2} - 6,6180757 \,.\, \frac{1}{r} + 13,4112407 - 0,4808074 \,.\, \frac{1}{r'^2}$$
$$+ 1,2236554 \,.\, \frac{1}{r'} = 0.$$

Beiden Gleichungen thut $\frac{1}{r'} = 4,4201$ sehr nahe Genüge, indem dann die erste $\frac{1}{r} = 4,54336$, die zweite $= 4,54333$ giebt.

Die einzelnen Radien sind also durch folgende Gleichungen bestimmt;

$$\frac{1}{r} = 4,543345$$

$$\frac{1}{\varrho} = G - \frac{1}{r} = - 0{,}726551$$

$$\frac{1}{r'} = 4{,}420100$$

$$\frac{1}{\varrho'} = - 6{,}129502,$$

das ist

$$r = 0{,}220102$$
$$\varrho = - 1{,}376366$$
$$r' = 0{,}226239$$
$$\varrho' = - 0{,}163145.$$

Es sey ferner für mittlere Strahlen $\frac{1}{\mu} = 1{,}524$

$$\frac{1}{\mu'} = 1{,}585$$

$\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu'} = 0,\ 6$, für Kronglas $\Delta\nu = 0{,}021$

für Flintglas $\Delta\nu' = 0{,}035$

$\Delta\frac{1}{\mu} = 0{,}011004$ $\qquad \Delta\frac{1}{\mu'} = 0{,}020475$;

für rothe Strahlen $\frac{1}{\mu''} = 1{,}512996$

$$\frac{1}{\mu'''} = 1{,}564525$$

$-\frac{F'}{F} = 1{,}666667$ oder $\frac{F}{F'} = - 0,\ 6$;

für die mittleren Strahlen $F = 0,\ 4$

$$F' = - 0{,}666667$$

$\mu = 0{,}656168$ $\qquad \mu' = 0{,}6309148.$

$$A - B + C = 2{,}312336.$$
$$A' - B' + C' = 2{,}2618296.$$
$$B - 2C = - 4{,}048.$$
$$B' - 2C' = - 4{,}170.$$
$$D' - E' = -\frac{1}{F} \cdot 6{,}5236592 = - 16{,}309148.$$
$$G = 4{,}770992,\ G' = - 2{,}5641025.$$
$$\frac{(B - 2C)\,G}{A - B + C} = - 8{,}3521493.$$
$$\frac{(A' - B' + C')\,F}{(A - B + C)\,F'} = - 0{,}5868947.$$

$$\frac{(B' - 2C')\, G'\, F}{(A - B + C) F'} = -\, 2{,}7744171.$$

$$\frac{(D' - E')\, F}{(A - B + C)\, F'} = +\, 4{,}2318629.$$

$$\frac{C\, G^2}{A - B + C} = 22{,}863166.$$

$$\frac{C'\, G'^2\, F}{F' (A - B + C)} = -\, 4{,}2857770.$$

$$\frac{E'\, G'\, F}{F' (A - B + C)} = 9{,}5724042.$$

$$\frac{H'\, F}{F' (A - B + C)} = -\, 6{,}9115652.$$

Die erste Gleichung

$$\frac{1}{r^2} - 8{,}352149\ \frac{1}{r} + 21{,}2382278 - 0{,}5868947 \cdot \frac{1}{r'^2}$$

$$+\, 1{,}4574458\ \frac{1}{r'} = 0.$$

Für die rothen Strahlen wird

$$F = 0{,}4085802, \quad F' = 0{,}6908463.$$
$$\mu'' = 0{,}6609403, \quad \mu''' = 0{,}6391716.$$
$$A - B + C = 2{,}3218806.$$
$$A' - B' + C' = 2{,}2783432.$$
$$B - 2C = -\, 4{,}025992.$$
$$B' - 2C' = -\, 4{,}129050.$$
$$D' - E' = -\, \frac{6{,}5566864}{F}.$$

$$\frac{(B - 2C)\, G}{A - B + C} = -\, 8{,}2725944.$$

$$\frac{(A' - B' + C')\, F}{(A - B + C)\, F'} = -\, 0{,}5803300.$$

$$\frac{(B' - 2C')\, G'\, F}{F' (A - B + C)} = -\, 2{,}696755.$$

$$\frac{(D' - E')\, F}{(A - B + C)\, F'} = +\, 4{,}087549.$$

$$\frac{C\, G^2}{A - B + C} = +\, 22{,}441550.$$

$$\frac{C'\, G'^2\, F}{F' (A - B + C)} = -\, 4{,}099132.$$

$$\frac{E' \; G' \; F}{F' \; (A - B + C)} = 9{,}101230.$$

$$\frac{H' \; F}{F' \; (A - B + C)} = -\; 6{,}527950.$$

Die zweite Gleichung

$$\frac{1}{r^2} - 8{,}2725944 \,.\, \frac{1}{r} + 20{,}915698 - 0{,}5803300 \,.\, \frac{1}{r'^2}$$

$$+ \; 1{,}3907941 \cdot \frac{1}{r'} = 0.$$

Diesen beiden Gleichungen entsprechen die Werthe $\frac{1}{r} = 6{,}182155, \frac{1}{r'} = 5{,}09800$; denn wenn man den letzten in beide Gleichungen setzt, so giebt die erste $\frac{1}{r} = 6{,}182156$, die letzte $= 6{,}182155$.

Die Gläser haben also die Halbmesser

$$r = \; 0{,}1617560.$$
$$\varrho = -\; 0{,}7086356.$$
$$r' = \; 0{,}1961554.$$
$$\varrho' = -\; 0{,}1305125.$$

Es ist nun der Mühe werth, zu berechnen, wie genau dieses Glas dem Zwecke entspreche. Nimmt man die Oeffnung so grofs, dafs der gröfste Einfallswinkel auf der Vorderfläche $= 18^\circ$ wird, so ist der Halbmesser der Oeffnung $= 0{,}0499854$. Das beträgt für 6 Fufs Brennweite $43'''$, also die ganze Oeffnung $= 86$ Lin., es wäre daher zureichend, den gröfsten Einfallswinkel $= 12^\circ$ zu setzen, indem der Halbmesser der Oeffnung bei Fraunhofer's gröfsern Fernröhren nicht über $0{,}033 \,.\, F''$ beträgt und auch bei Dollond's besten Fernröhren $0{,}04 \,.\, F''$.[1] Dicke des ersten Glases $= r.$ Sin. vers. $18^\circ - \varrho\,.$Sin. vers. $4^\circ\, 2'$ $= 0{,}006162$.

Die zweite Fläche umfafst nämlich	4° 2′
die dritte Fläche	14° 46′
die vierte Fläche	22° 31′

die Dicke der zweiten Linse setze ich $= 0{,}001$.

Die folgende Tafel giebt nun die Werthe der einzelnen Gröfsen für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit an, und zwar ist g von der ersten Oberfläche F von der zweiten, g' von der

1 G. XXXVI. 78.

dritten, F'' von der vierten an gerechnet und φ, φ', φ'', φ''', φ^{iv}, φ^{v}, φ^{vi}, φ^{vii} sind die Winkel des Strahles vor und nach der Brechung mit den verschiedenen Radien.

φ φ'	φ'' φ'''	g F	φ^{iv} φ^{v}	φ^{vi} φ^{vii}	g' F''
φ = 0°.15'0''	φ'' = 0. 1.46,7	g = 0,470460	φ^{iv} = 0. 6. 6,9	φ^{vi} = 0. 9.59,7	g' = 0,286870
φ' = 0. 9.50,6	φ''' = 0. 2.42,5	F = 0,393247	φ^{v} = 0. 3.51,5	φ^{vii} = 0.15.50,6	F'' = 0,9414890
φ = 6. 0. 0	φ'' = 0.42.57,0	g = 0,4693436	φ^{iv} = 2.26.18,1	φ^{vi} = 3.58. 9,2	g' = 0,2864619
φ' = 3.55.58,6	φ''' = 1. 5.27,6	F = 0,3919996	φ^{v} = 1.32.17,3	φ^{vii} = 6.17.55,8	F'' = 0,9405669
φ = 12. 0	φ'' = 1.27.32,0	g = 0,4660332	φ^{iv} = 4.49.21,1	φ^{vi} = 7.54.23,1	g' = 0,2852547
φ' = 7.50.27,7	φ''' = 2.13.25,1	F = 0,3882889	φ^{v} = 3. 2.25,6	φ^{vii} = 12.35.35,1	F'' = 0,9381305
φ = 18. 0	φ'' = 2.15.23,1	g = 0,4605922	φ^{iv} = 7. 5.51,1	φ^{vi} = 11.46.40,5	g' = 0,2832555
φ' = 11.41.55,7	φ''' = 3.26.23,9	F = 0,3822166	φ^{v} = 4.28.15,7	φ^{vii} = 18.52.35,1	F'' = 0,9338981

Für die rothen Strahlen ergiebt sich Folgendes:

φ φ'	φ'' φ'''	g F	φ^{iv} φ^{v}	φ^{vi} φ^{vii}	g' F''
φ = 0.15. 0	φ'' = 0. 1.42,3	g = 0,4770762	φ^{iv} = 0. 6.15.0	φ^{vi} = 0.10. 4,4	g' = 0,2915242
φ' = 0. 9.54,8	φ''' = 0. 2.34,9	F = 0,4018038	φ^{v} = 0. 3.59,7	φ^{vii} = 0.15.45,7	F'' = 0,9436179
φ = 18.0. 0	φ'' = 2.10.12,5	g = 0,4669291	φ^{iv} = 7.15.30,6	φ^{vi} = 11.56.48,8	g' = 0,2877830
φ' = 11.47.6,4	φ''' = 3.17. 3,8	F = 0,3904129	φ^{v} = 4.37.55,5	φ^{vii} = 18.53.48,5	F'' = 0,9366333

Die hier hervorgehende ungleiche Brennweite = F'', welche nämlich für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit, die nahe am Centrum einfallen, = 0,94149, für Strahlen von geringer Brechbarkeit nahe am Centrum = 0,94362, für Randstrahlen von mittlerer Brechbarkeit = 0,93390 wird, ist Folge der Dicke der Gläser, auf welche die Formeln nicht Rücksicht nehmen. Rechnet man so, als ob alle brechende Flächen einander in der Axe berührten oder die Gläser in der Mitte gar keine Dicke hätten, so erhält man Folgendes:

	$\varphi\ \varphi'$	$\varphi''\ \varphi'''$	g F	$\varphi^{iv}\ \varphi^{v}$	$\varphi^{vi}\ \varphi^{vii}$	g' F''
für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit	$\varphi = 0°.15'.0''$ $\varphi' = 0.\ 9.50,6$	$\varphi'' = 0.\ 1.54,0$ $\varphi''' = 0.\ 2.38,5$	g = 0,4704494 F = 0,3999968	$\varphi^{iv} = 0.\ 6.18,2$ $\varphi^{v} = 0.\ 3.58,6$	$\varphi^{vi} = 0.10.11,9$ $\varphi^{vii} = 0.16.\ 9,9$	g' = 0,2891098 F'' = 1,000048
für Strahlen von geringer Brechbarkeit	$\varphi = 0.15.\ 0$ $\varphi' = 0.\ 9.54,8$	$\varphi'' = 0.\ 1.39,7$ $\varphi''' = 0.\ 2.30,9$	g = 0,4770762 F = 0,4085827	$\varphi^{iv} = 0.\ 6.25,8$ $\varphi^{v} = 0.\ 4.\ 6,6$	$\varphi^{vi} = 0.10.19,9$ $\varphi^{vii} = 0.16.\ 9,8$	g' = 0,2937806 F'' = 0,9999007
für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit	$\varphi = 18.\ 0.\ 0$ $\varphi' = 11.41.55,8$	$\varphi'' = 2.12.\ 6,0$ $\varphi''' = 3.21.23,3$	g = 0,4605935 F = 0,3889101	$\varphi^{iv} = 7.19.33,6$ $\varphi^{v} = 4.36.52,2$	$\varphi^{vi} = 12.\ 6.17,3$ $\varphi^{vii} = 19.24.46,8$	g' = 0,2855525 F'' = 1,000129
für Strahlen von geringer Brechbarkeit	$\varphi = 18.\ 0.\ 0$ $\varphi' = 11.47.\ 6,4$	$\varphi'' = 2.\ 6.58,1$ $\varphi''' = 3.12.\ 9,6$	g = 0,4669291 F = 0,3971225	$\varphi^{iv} = 7.28.53,6$ $\varphi^{v} = 4.46.26,0$	$\varphi^{vi} = 12.16.\ 8,0$ $\varphi^{vii} = 19.25.\ 5,7$	g' = 0,2900824 F'' = 1,0002197

Diesem, aus der unvermeidlichen Dicke der Gläser entspringenden, Fehler wird sehr nahe abgeholfen, wenn man den letzten Radius auf $\varrho' = 0{,}1285000$ herabsetzt; alsdann nämlich wird, indem alles vorige übrigens der für $\varrho' = 0{,}1305125$ berechneten Tafel, in welcher die wahre Dicke der Gläser berücksichtigt ist, gemäſs bleibt,

	φ	φ^{vi} φ^{vii}	F''
für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit	$\varphi = 0°15'0''$	$\varphi^{vi} =$ 0. 10. 13,1 $\varphi^{vii} =$ 0. 16. 11,7	$F'' = 1{,}0080814$
	$\varphi =$ 6. 0. 0.	$\varphi^{vi} =$ 4. 5. 2,3 $\varphi^{vii} =$ 6. 28. 53,0	$F'' = 1{,}0079226$
	$\varphi =$ 12. 0. 0.	$\varphi^{vi} =$ 8. 8. 1,3 $\varphi^{vii} =$ 12. 57. 51,0	$F'' = 1{,}0078670$
	$\varphi =$ 18. 0. 0.	$\varphi^{vi} =$ 12. 7. 31,4 $\varphi^{vii} =$ 19. 26. 48,7	$F'' = 1{,}0075600$
für Strahlen von geringer Brechbarkeit	$\varphi =$ 0. 15. 0.	$\varphi^{vi} =$ 0. 10. 21,6 $\varphi^{vii} =$ 0. 16. 12,6	$F'' = 1{,}0081000$
	$\varphi =$ 18. 0. 0.	$\varphi^{vi} =$ 12. 17. 43,9 $\varphi^{vii} =$ 19. 27. 41,1	$F'' = 1{,}0081582.$

Es läſst sich leicht übersehen, daſs man durch eine Correction der übrigen Radien dem genauen Zusammentreffen noch näher kommen kann; indeſs will ich diese Berechnung hier nicht unternehmen, da zuvor von Seiten der Künstler die Entscheidung gegeben werden muſs, ob die hier angegebene convex-concave Form nicht in Rücksicht der Ausführung Schwierigkeiten hat, die Gauss selbst als sich vielleicht darbietend bemerklich macht. Uebrigens sind auch die Unterschiede zwischen den Werthen von F'' für $\varphi = 12°$ nur $= 0{,}0003$, also sehr geringe.

Ich gehe jetzt zur Darstellung der Herschel'schen Theorie über, bei welcher ich, da sie schon auf mehr Beispiele angewandt ist, nicht so lange zu verweilen habe. Auch bei ihr liegt die oben gebrauchte Gleichung für die $= 0$ gesetzte Abweichung wegen der Gestalt zum Grunde, und da hier b nicht als unendlich groſs betrachtet wird, so kommen in dem Werthe für P die Glieder, welche $\frac{1}{b}$ enthalten, vor, dagegen dürfen die, wo der Factor $\frac{1}{b^2}$ vorkommt, weggelassen werden. Da-

her ist, nach unsern schon früher gebrauchten Ausdrücken, $P + P' =$

$$\frac{1}{2F}\left[\frac{A}{r^2} + \frac{B}{r\varrho} + \frac{C}{\varrho^2}\right] - \frac{1}{2\mu F b}\left[\frac{3 - 3\mu - 4\mu^2}{r} + \frac{3+\mu}{\varrho}\right]$$
$$+ \frac{1}{2F'}\left[\frac{A'}{r'^2} + \frac{B'}{r'\varrho'} + \frac{C'}{\varrho'^2} + \frac{D'}{r'} + \frac{E'}{\varrho'} + H'\right]$$
$$- \frac{1}{2F'\mu' b}\left[\frac{3 - 3\mu' - 4\mu'^2}{r'} + \frac{3+\mu'}{\varrho'}\right] - \frac{3 + 2\mu'}{F' b F} \ldots$$

Hier geben nun die in $\frac{1}{b}$ multiplicirten Glieder, indem man nach Herschel's Anleitung sie für sich $= 0$ setzt, die zweite Gleichung, deren man zur Bestimmung der Werthe von r und r' bedarf. Setze ich nämlich, wie oben, $\frac{1}{\varrho} = G - \frac{1}{r}$ und $\frac{1}{\varrho'} = G' - \frac{1}{r'}$, so ist der bei $\frac{1}{b}$ vorkommende Factor folgender:

$$-\frac{4(\mu + \mu^2)}{\mu F r} - \frac{4(\mu' + \mu'^2)}{\mu' F' r'} + \left(\frac{3}{\mu} + 1\right)\frac{G}{F}$$
$$+ \left(\frac{3}{\mu'} + 1\right)\frac{G'}{F'} + 2\frac{(3 + 2\mu')}{F F'} = 0.$$

Diese Gleichung giebt $\frac{1}{r'}$ durch $\frac{1}{r}$ ausgedrückt, und wenn man sie auf den Fall anwendet, wo $\frac{1}{\mu} = 1{,}524$, $\frac{1}{\mu'} = 1{,}585$ war,

$F = 0{,}4$, $F' = -0{,}6666667$,
$G = 4{,}770992$, $G' = -2{,}5641025$,

so erhält man

$$\frac{4(1+\mu)}{F} = 16{,}56168$$
$$\frac{4(1+\mu')}{F'} = -9{,}785490$$
$$\left(\frac{3}{\mu} + 1\right)\frac{G}{F} = +66{,}459930$$
$$\left(\frac{3}{\mu'} + 1\right)\frac{G'}{F'} = 22{,}134615$$
$$\frac{2(3 + 2\mu')}{F F'} = -31{,}963720.$$

Diese Gleichung wird also:

$$16{,}561680 \cdot \frac{1}{r} - 9{,}785490 \cdot \frac{1}{r'} + 56{,}630825 = 0;$$

sie muſs mit der oben gefundenen

$$\frac{1}{r^2} - 8{,}3521493 \cdot \frac{1}{r} + 21{,}2382278$$

$$- 0{,}5868947 \cdot \frac{1}{r'^2} + 1{,}4574458 \cdot \frac{1}{r'} = 0$$

verbunden werden, um beide Gröſsen zu finden.

Die erste giebt $\frac{1}{r} = 0{,}590851 \frac{1}{r'} + 3{,}419390$, also die zweite $\frac{1}{r'^2} - 2{,}36876 \frac{1}{r'} = 18{,}38256$, und dieser Gleichung entsprechen die zwei Wurzeln

$$\frac{1}{r'} = -3{,}26369 \text{ und } \frac{1}{r'} = 5{,}63245.$$

Der erste Werth ist derjenige, den Herschel in seine Tafel aufgenommen hat, und dieser giebt $\frac{1}{r} = 1{,}491036$, also

$$\begin{aligned} r &= \quad 0{,}67078, \text{ (bei Herschel steht } 0{,}67069) \\ \varrho &= \quad 0{,}30488, \\ r' &= -0{,}30640, \\ \varrho' &= \quad 1{,}42941. \end{aligned}$$

Der zweite Werth würde geben

$$\frac{1}{r'} = 5{,}63245; \ \frac{1}{r} = 6{,}74733,$$

$$\begin{aligned} r &= \quad 0{,}14820, \\ \varrho &= -0{,}50599, \\ r' &= \quad 0{,}17754, \\ \varrho' &= -0{,}12200. \end{aligned}$$

Diese Zahlen sind zwar nicht den nach Gauss bestimmten gleich [1], geben aber doch eben so wie diese eine Zusammensetzung aus zwei convex-concaven Gläsern. Es ist nun noch der Mühe werth, auch für das von Herschel angenommene Glas die wahre Brennweite zu berechnen und zu sehen, wie die Werthe für die zwei ungleichfarbigen Strahlen und wie die Werthe für Centralstrahlen und Randstrahlen zusammenstimmen. Wenn ich die Gröſse der Linse so wie vorhin beibehalte, so ist

---

1 Diese waren näml.: $r = 0{,}161756$, $\varrho = -0{,}708636$, $r' = 0{,}196155$, $\varrho' = -0{,}130512$.

der Einfallswinkel auf die erste Fläche am Rande $= 4^\circ\, 16'$, weil der Halbmesser dieser Fläche viermal so grofs, als vorhin, ist. Die Dicke des ersten Glases wird $= 0{,}00186 + 0{,}00412 = 0{,}00598$, die Dicke des zweiten Glases kann ich wieder $= 0{,}001$ setzen. Es ergiebt sich nun für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit, wenn ich die in meiner Rechnung gefundenen Halbmesser beibehalte:

$\varphi\ \varphi'$	$\varphi''\ \varphi'''$	g F	$\varphi^{iv}\ \varphi^{v}$	$\varphi^{vi}\ \varphi^{vii}$	g′ F″
$\varphi = 0^\circ.15'.0''$	$\varphi'' = 0.38.\ 3{,}5$	g = 1,950890	$\varphi^{iv} = 0.57.50{,}3$	$\varphi^{vi} = 0.10.38{,}2$	g′ = 2,672764
$\varphi' = 0.\ 9.50{,}5$	$\varphi''' = 0.58.\ 0{,}1$	F = 0,399634	$\varphi^{v} = 0.36.29{,}5$	$\varphi^{vii} = 0.16.51{,}6$	F″ = 0,997570
$\varphi = 4.16.\ 0$	$\varphi'' = 10.53.22{,}2$	g = 1,948557	$\varphi^{iv} = 16.41.\ 6{,}1$	$\varphi^{vi} = 3.\ 3.40{,}5$	g′ = 2,685396
$\varphi' = 2.47.53{,}4$	$\varphi''' = 16.43.57{,}7$	F = 0,384826	$\varphi^{v} = 10.26.10{,}7$	$\varphi^{vii} = 4.51.20{,}0$	F″ = 0,997786

für die weniger brechbaren Strahlen:

$\varphi\ \varphi'$	$\varphi''\ \varphi'''$	g F	$\varphi^{iv}\ \varphi^{v}$	$\varphi^{vi}\ \varphi^{vii}$	g′ F″
$\varphi = 0.15.\ 0$	$\varphi'' = 0.37.59{,}3$	g = 1,978370	$\varphi^{iv} = 0.57.18{,}8$	$\varphi^{vi} = 0.10.54{,}5$	g′ = 2,576412
$\varphi' = 0.\ 9.54{,}8$	$\varphi''' = 0.57.28{,}5$	F = 0,408215	$\varphi^{v} = 0.36.38{,}0$	$\varphi^{vii} = 0.17.\ 4{,}0$	F″ = 0,997580
$\varphi = 4.16.\ 0$	$\varphi'' = 10.52.\ 8{,}6$	g = 1,975970	$\varphi^{iv} = 16.31.44{,}4$	$\varphi^{vi} = 3.\ 6.\ 7{,}6$	g′ = 2,585550
$\varphi' = 2.49.\ 6{,}8$	$\varphi''' = 16.34.\ 36$	F = 0,393394	$\varphi^{v} = 10.28.38{,}0$	$\varphi^{vii} = 4.51.24{,}4$	F″ = 0,997257

Bei diesem Herschel'schen Glase ist also für Centralstrahlen F'' gleich grofs, der ungleichen Brechbarkeit ungeachtet, (nämlich nur um 0,00001 verschieden,) und es bedarf wegen der Dicke des Glases nicht noch einer besonderen erheblichen Correction. Was die Randstrahlen betrifft, so ist für mittlere Brechbarkeit die Differenz = 0,00021, für geringe Brechbarkeit die Differenz = — 0,00031, aber für eine Oeffnung, deren Halbmesser beinahe = 0,05 ist, so dafs man sie für 0,04 als sehr bedeutend geringer ansehen kann. Um eine noch genauere Uebereinstimmung zu erhalten, müfste man die Halbmesser ein wenig corrigiren, und würde durch einige versuchsweise angestellte Rechnungen für etwas geänderte Werthe der Halbmesser diejenigen finden, welche den Correctionen wegen der noch unberücksichtigt gelassenen Gröfsen am besten Genüge thun. Es ist hierbei zu bemerken, dafs schon FRAUNHOFER, ehe noch HERSCHEL seine Untersuchungen anstellte, die Abmessungen seiner Gläser fast ganz genau eben so gewählt, also fast eben die Formeln zum Grunde gelegt hat, wie man sie nach HERSCHEL's Bestimmungen findet. PRECHTL führt in seiner Dioptrik mehrere genau ausgemessene Fraunhofer'sche Gläser an, die dieses zeigen. Bei einem Glase von 37''' Oeffnung war

$$r = 33{,}42,$$
$$\varrho = 13{,}29,$$
$$r' = 13{,}55,$$
$$\varrho' = 60{,}61,$$

und nach HERSCHEL's Formeln hätte werden sollen

$$r = 33{,}42,$$
$$\varrho = 13{,}25,$$
$$r' = 13{,}54,$$
$$\varrho' = 60{,}82.$$

Bei einem Glase von 48''' Oeffnung stehn sie so einander gegenüber:

	FRAUNHOFER	HERSCHEL
$r =$	41,800	41,808
$\varrho =$	16,638	16,608
$r' =$	16,972	16,982
$\varrho' =$	75,653	76,146

wo vielleicht die Uebereinstimmung noch genauer wäre, wenn man das Zerstreuungsverhältnifs ganz genau gekannt hätte.

Um diese Bestimmung der vorzüglich brauchbaren Gestalt der Gläser in jedem einzelnen Falle zu erleichtern, hat schon

Herschel selbst eine kleine Tafel der den verschiedenen Zerstreuungsverhältnissen angemessenen Radien berechnet und Barlow hat diese [1] so vervollständigt, dafs sie mit grofser Leichtigkeit allemal angewandt werden kann, wenn man nur die Brechungsverhältnisse der verschiedenen Farbenstrahlen für die beiden anzuwendenden Glasarten kennt. Diese Tafel hier mitzutheilen wäre überflüssig, da sie in Prechtl's Dioptrik [2], einem Buche, welches in vieler anderen Hinsicht jedem Optiker fast unentbehrlich ist, vollständig mitgetheilt worden und mit einer Anleitung zum Gebrauche versehen ist [3].

---

1 Edinb. philos. Journal. Apr. 1826. No. XXVIII. p. 311.

2 Practische Dioptrik, als vollständige und gemeinfafsliche Anleitung zur Verfertigung achromatischer Fernröhre. Von J. J. Prechtl. (Wien 1828.) S. 79.

3 Ich kann diesen Gegenstand nicht verlassen, ohne einen Irrthum zu berichtigen, in welchen Littrow in seiner Abh. in Baumgartner's Zeitschrift III. 143. mir gerathen zu seyn scheint, und dessen Berichtigung ich um so nöthiger erachte, weil Herschel's Berechnungsmethode ganz als ungenügend anzusehen wäre, wenn die dortigen Behauptungen gegründet befunden würden. Littrow findet nämlich in dem dort nach Herschel's Anleitung berechneten Exempel so bedeutende Abweichungen, dafs die Gläser als durchaus nicht empfehlenswerth erscheinen, und das zu ihrem Nachtheil Gesagte ist um so bedeutender, da Littrow bei mehreren nach Herschel berechneten Beispielen eben das gefunden zu haben versichert. Diese ungenügenden Resultate beruhen aber auf einer Verwechselung. Herschel nämlich giebt den Werth der Radien für $\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu'} = 0,5$ an und Littrow hat es so angesehen, als ob die Radien für $\frac{\Delta\frac{1}{\mu}}{\Delta\frac{1}{\mu'}} = 0,5$ angegeben würden; dieses ist aber so sehr verschieden, dafs, wenn man aus Littrow's Angaben, die in meinen Zeichen $\frac{1}{\mu} = 1,524$, $\frac{1}{\mu'} = 1,585$, $\frac{1}{\mu''} = 1,504$, $\frac{1}{\mu'''} = 1,185$ heifsen würden, rechnet, man $\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu'} = 0,558206$ erhält und nun in Barlow's Tafeln Werthe findet, die ganz und gar andere Halbmesser angeben. Wenn $\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu'} = 0,5$ ist und $\frac{1}{\mu} = 1,524$, $\frac{1}{\mu'} = 1,585$, so ist, wie sich aus den oben berechneten Beispielen leicht sehen läfst, $\Delta\frac{1}{\mu} = 0,01048$, $\Delta\frac{1}{\mu'} = 0,02340$,

Da diese bisher betrachteten Methoden so sehr genügende Resultate geben, so kann ich mich wohl der Mühe überheben, noch umständlich von andern Berechnungsmethoden zu reden; indeſs muſs ich doch LITTROW's Methode noch anführen. Er giebt dem vorderen Glase, der Kronglaslinse, gleiche Halbmesser, weil alsdann das Fernrohr bei gleicher Brennweite die möglichst gröſste Oeffnung erhält. Da dann $r = \varrho$ ist, so werden beide aus der gegebenen Brennweite der ersten Linse bestimmt, und da aus der bekannten Zerstreuung in beiden Gläsern die Brennweite der zweiten Linse bekannt ist, so bleibt aus der Gleichung für die Abweichung wegen der Gestalt nur noch *ein* Radius zu bestimmen übrig. Nach LITTROW's Vorschrift, deren Befolgung allerdings wegen der nur genäherten Werthe der Formeln zu empfehlen ist, sucht man mit Hülfe der Formeln nur einen Näherungswerth für r', und dann durch eine indirecte Behandlung, indem man einige wenig verschiedene Werthe von

---

also $\frac{1}{\mu''} = 1{,}51352$, $\frac{1}{\mu'''} = 1{,}56160$, und wenn die Rechnung für Gläser von ganz geringer Dicke geführt wird, so erhält man folgende Resultate. Nach HERSCHEL's Angabe, die LITTROW befolgt, soll $r = 0{,}67485$, $\varrho = 0{,}42827$, $r' = -0{,}41575$, $\varrho' = 1{,}43697$ seyn, und es ist nun nach LITTROW's eigener Formel für Centralstrahlen, da

$$\frac{1}{r} = 1{,}481811,$$

$$\frac{1}{\varrho} = 2{,}334976,$$

$$\frac{1}{r'} = -2{,}405292,$$

$$\frac{1}{\varrho'} = 0{,}695909$$ wird, für die gelben Strahlen

$$\frac{1}{B'} = 0{,}524 . 3{,}816787 + 0{,}585 . 1{,}709383$$
$$= 1{,}9999964 - 0{,}9999885 = 1{,}0000079,$$
$$B' = 0{,}999992,$$ und für die rothen Strahlen

$$\frac{1}{B'} = 0{,}51352 . 3{,}816787 - 0{,}56160 . 1{,}709383$$
$$= 1{,}9599965 - 0{,}9599895,$$
$$= 1{,}000007,$$
$B' = 0{,}999993$; also statt der von LITTROW angegebenen Differenz $= 0{,}008021$, die allerdings unerträglich wäre, nur $= 0{,}000001$. Es wird nun wohl nicht nöthig seyn, noch die Randstrahlen zu berechnen, da es deutlich genug erhellt, daſs die der Herschel'schen Bestimmung vorgeworfenen Fehler auf einem Irrthume beruhen.

r' anwendet, aus den ganz strengen trigonometrischen Formeln die für Centralstrahlen in Beziehung auf zwei zu vereinigende Strahlen hervorgehenden Brennweiten. So findet man leicht den besten Werth von r' und so ist es allerdings möglich, auch auf diesem Wege Objective zu erhalten, die sehr genügend sind. Littrow's berechnete Beispiele bezeugen, dafs man selbst bei einer Oeffnung $= 0{,}1$ der Brennweite nur höchst unbedeutende Differenzen der vier Werthe von F'' findet. Zu bemerken ist indefs, dafs man auch bei den vorhin gelehrten, schon auf directem Wege zu so sehr guten Resultaten führenden Methoden, um die in den Formeln unbeachtet gelassenen Fehler wegzuschaffen, nur nöthig hätte, mit etwas abgeänderten Radien genau die vier Brennweiten (für Randstrahlen und Centralstrahlen zweier Farben) zu berechnen und dann die vollkommen passenden Bestimmungen auszuwählen. Diese indirecte Verbesserung der unmittelbar gefundenen Resultate scheint, wenn sie gleich etwas mühsam ist, den Vorzug vor solchen Correctionsmethoden, wie Santini[1] sie angiebt, zu verdienen, nicht allein weil jeder Künstler die leichten trigonometrischen Proberechnungen gewifs auf einige den besten Abmessungen nahe liegende Fälle wird anwenden können, sondern auch weil die künstlichen Correctionsformeln eben nicht mit mehr Bequemlichkeit und Sicherheit zum Ziele führen.

In Beziehung auf die Gröfse, die man den Objectivgläsern geben soll, bietet sich noch eine bemerkenswerthe Frage dar. Es ist, wie aus allem vorigen erhellt, unmöglich, die Abweichung wegen der Gestalt für alle auf das Glas fallende Strahlen gleich gut zu heben; wenn nun die Abweichung $= 0$ wird für Strahlen, die unter dem Winkel $\varphi = \alpha$ einfallen, so wird zwischen den Werthen $\varphi = 0$ und $\varphi = \alpha$ eine merklichere Abweichung statt finden und für $\varphi > \alpha$ wieder. V. Bohnenberger hatte geäufsert, es sey dann erlaubt, die Oeffnung bis über $\varphi = \alpha$ hinaus zu erweitern, da die entfernteren Strahlen keinen gröfseren Fehler als die dem Mittelpuncte näheren hervorbringen; aber diese Meinung hat Gauss mit vollem Rechte widerlegt. Allerdings nämlich ist der Raum, über welchen die nicht strenge im Brennpuncte vereinigten Strahlen sich zerstreuen, nicht vergröfsert, wenn man auch die Oeffnung bis zu gewissen Grenzen

---

1 A. a. O. T. I. p. 182.

über $\varphi = \alpha$ hinaus erweitert, aber die Erleuchtung dieses falschen Bildes nimmt durch die in eben den unrichtigen Puncten vereinigten, von entfernteren Stellen des Glases herkommenden Strahlen zu, und der Nachtheil steigt also in hohem Grade, wenn man Strahlen aus weiterem Abstande von der Axe mit aufnimmt. Und dieses ist um so schlimmer, weil ein Ring vom Halbmesser $r . \mathrm{Sin.}(\alpha + x)$, der seine Strahlen eben da vereinigt, wo die von dem Ringe, dessen Halbmesser $= r . \mathrm{Sin.}(\alpha - x')$ ist, vereinigt werden, *mehr* Strahlen empfängt, also in stärkerem Grade die Erleuchtung der das wahre Bild umgebenden Puncte befördert [1]. Da dieser Gegenstand von bedeutender Wichtigkeit ist, so theile ich hier einen Brief des Herrn Ritter Gauss an mich mit, welcher nähere Andeutungen hierüber enthält. „Auf Veranlassung Ihres Briefes habe ich eine freie Stunde auf den in „jenem Aufsatze am Ende kurz erwähnten Umstand gewandt. „Der eigentliche Sinn der dortigen Bemerkung scheint nicht von „allen ganz richtig aufgefaſst zu seyn, aber auch meine Angabe „bedarf einer kleinen Modification. Ich finde nämlich jetzt „durch eine *tiefer eindringende* Untersuchung, daſs die Undeutlichkeit, die in dem Ausdrucke für die Längen-Abweichung „von der vierten Potenz des Abstandes der auffallenden Strahlen „von der Axe abhängt, den möglichst kleinsten Total-Einfluſs „hat, wenn man das Objectiv so construirt, daſs diejenigen „Strahlen, die unendlich nahe bei der Axe einfallen, und diejenigen, die in einer Entfernung $= R . \sqrt{\tfrac{6}{5}}$ auffallen würden, „(wo $R =$ Radius des Objectivs ist,) in *einem* Puncte A sich „vereinigen, wobei das Ocular dann so steht, daſs man denjenigen Punct der Axe, wo die Strahlen, die in der Entfernung „$= \left(\tfrac{3}{5} - \frac{\sqrt{6}}{10}\right) R$ und $= \left(\tfrac{3}{5} + \frac{\sqrt{6}}{10}\right) R$ von der Axe aufgefallen „sind, sich alle vereinigen, deutlich sieht. Denken Sie Sich nämlich durch diesen Punct eine auf die Axe senkrechte Ebene, so „ist das Bild desto undeutlicher, je gröſser der Kreis um A ist, „den die von einem Puncte des Objectes auf das Objectivglas gefallenen Strahlen füllen, doch so, daſs die Intensität der Strahlen „an jeder Stelle dieses Kreises mit berücksichtigt werden muſs. „Hierbei ist nun einige Willkürlichkeit; ich halte für das zweckmäſsigste, hier nach denselben Principien zu verfahren, die

---

1 Astr. Zeitschr. von v. Lindenau und v. Bohnenberger. Bd. IV. S. 350.

„der Methode der kleinsten Quadrate zum Grunde liegen. Ist „nämlich ds ein Element dieses Kreises, ϱ die Entfernung des „Elements von A und i die Intensität der Strahlen daselbst, so „nehme ich an, daſs $\int i \varrho^2 ds$ als das Maſs der Total-Undeutlich- „keit zu betrachten sey, und mache dieses zu einem Minimum. „Ich finde dabei folgende Resultate: 1. Construirte man das „Objectiv so, daſs dasjenige Glied der Längen-Abweichung, „welches von dem Quadrate der Entfernung von der Axe ab- „hängt, $= 0$ wird, und setzte das Ocular so, daſs A dahin „fällt, wo die der Axe unendlich nahen Strahlen diese schnei- „den, so sey der Werth dieses Integrals $=$ E. 2. Stellte man „aber *bei derselben Einrichtung* das Ocular so, daſs das Inte- „gral so klein wird, wie es bei dieser Einrichtung werden kann, „(wobei A der Vereinigungspunct der in der Entfernung $= R\sqrt{\tfrac{1}{2}}$ „auffallenden Strahlen seyn wird,) so ist das Integral $= \tfrac{1}{4}$ E; „3. dagegen ist bei der obigen Einrichtung und der vortheilhaf- „testen Stellung des Oculars das Integral $= \tfrac{1}{100}$ E, als absolu- „tes Minimum. Obiges Resultat, daſs nämlich mit dem Verei- „nigungspuncte der der Axe unendlich nahen Strahlen ein bloſs „*fingirtes* Bild (von Strahlen aus gröſserer Distanz von der Axe „als der Halbmesser des Objectivs) vereinigt werden soll, ist „anfangs sehr überraschend und paradox scheinend; aber bei „näherer Betrachtung sieht man den eigentlichen Grund leicht „ein. Jenes erste *sogenannte* Hauptbild (von Strahlen sehr nahe „bei der Axe) ist nämlich dabei gleichsam das Unwichtigste we- „gen seiner geringen Intensität; viel wichtiger ist, daſs die Strahlen „von den der Peripherie näheren Ringen des Objectivs *unter sich* „besser zusammen gehalten werden, was bei jener Einrichtung „am besten erreicht wird. Es thut mir leid, daſs die Grenzen „eines Briefes jetzt gröſsere Ausführlichkeit nicht gestatten; der „scharfe Calcül läſst sich nichts abstreiten und bei einem vagen „Raisonnement übersieht man leicht einen wesentlichen Um- „stand; allein für den Kenner werden diese Winke schon zu- „reichen.“

„Allgemein finde ich, daſs immer *bei der vortheilhaftesten* „*Stellung des Oculars* jenes Integral $= \tfrac{1}{4} E(1 - \tfrac{8}{5}\mu^2 + \tfrac{2}{3}\mu^4)$ „wird, wenn das Objectiv so construirt ist, daſs Strahlen aus „der Entfernung μR von der Axe sich mit dem (oben sogenann- „ten) Hauptbilde in einem Puncte vereinigen. Dieses ist ein „Minimum für $\mu = \sqrt{\tfrac{6}{5}}$ und ist dann $= \tfrac{1}{100}$ E; für $\mu = 1$ wäre

„es nur $= \frac{1}{80}$E und für $\mu =$ unendlich klein, $= \frac{1}{4}$E. Nicht „allein hat also hiernach BOHNENBERGER Unrecht, sondern auch „ich habe damals Unrecht gehabt, aber insofern, als ich noch „nicht weit genug von BOHNENBERGER abgewichen bin. Ich „hatte damals bloſs die *ganze Gröſse* des undeutlichen Bildes „berücksichtigt, ohne auf die ungleiche Intensität der einzelnen „Theile Rücksicht zu nehmen."

So weit dieser lehrreiche Brief. Ich hatte mir vorgenommen zu versuchen, die hier angedeuteten Bestimmungen durch einen umständlichen Commentar zu erläutern, aber die vielen Zahlenrechnungen im Vorigen, die mir nöthig schienen, um den wahren Bestand der bisherigen Kenntnisse deutlich darzulegen, haben mir die Zeit so sehr geraubt, daſs ich genöthiget bin, diesen Gegenstand für dieses Mal bei Seite zu lassen, und wohl auf Verzeihung rechnen darf, wenn ich die höchst schwierigen Untersuchungen über das achromatische Linsenglas, welche noch Stoff zu einer Arbeit für mehrere Monate darböten, hier abbreche [1]. Ich bemerke nur noch, daſs auch FRAUNHOFER in anderer Beziehung die Berücksichtigung der Intensität des Lichtes als sehr nothwendig anempfohlen hat, nämlich insofern, als es vorzüglich nothwendig ist, diejenigen Farbenstrahlen in einem einzigen Puncte zu vereinigen, deren starke Erleuchtungsfähigkeit am meisten Nachtheile hervorbrächte, wenn sie nicht in dem richtigen Puncte zusammenträfen. Er fordert daher, daſs man das Zerstreuungsverhältniſs nicht nach einzelnen Farbenstrahlen festsetze, sondern aus den Producten der Zahlen, welche die Zerstreuung bestimmter Strahlen angeben, in die Intensität dieser Strahlen eine Summe bilde, die mit der Summe aller Intensitäten des Lichtes dividirt den Werth der als Zerstreuungsverhältniſs anzugebenden Zahl bestimme. Es wäre wohl der Mühe werth, in einer umständlicheren Abhandlung den Vorzug in ausgerechneten Exempeln nachzuweisen, den die Berücksichtigung dieses offenbar sehr zu beachtenden Umstandes gewährt und der [2] bei FRAUNHOFER's Gläsern beachtet worden ist [3].

---

1 Etwas hierher Gehöriges, aber nicht hinreichend ausgeführt, enthält SCHLEIERMACHER's Abhandl. Poggend. Ann. XIV. 1.

2 G. LVI. 302.

3 Eine Bemerkung von BARLOW mag hier noch Platz finden, deren Werth ich nicht zu beurtheilen wage. Er sagt (Phil. Transact.

Von dreifachen Objectiven.

Da die jetzige Anordnung der Doppel-Objective so wenig zu wünschen übrig läſst, so scheint der Gebrauch der dreifachen Objective eben nicht mehr nöthig zu seyn und auch in der That kaum noch statt zu finden. Kurz nach der Erfindung der achromatischen Gläser bediente man sich ihrer häufiger, weil man damals glaubte, bei einer Doppellinse falle die Brennweite des convexen Glases, um den Zweck, die Abweichung aufzuheben, zu erreichen, zu klein aus, woraus dann die Nothwendigkeit, zwei convexe Linsen von gröſserer Brennweite anzuwenden, zu erhellen schien. Daſs hierbei eben solche Bestimmungsgleichungen, aber noch verwickelter als vorhin, vorkommen, ist einleuchtend, und ebenso, daſs man unter den sechs zu bestimmenden Halbmessern einige willkürlich annehmen darf, wenn man nur eben den Bedingungen, wie vorhin, Genüge zu thun sucht. Die theoretischen Untersuchungen über diesen Gegenstand müſsten, wenn man vollständig den Nutzen, den ein dreifaches Objectiv gewähren kann, wollte kennen lernen, noch einmal ganz von neuem geführt werden, da Euler's und Klü-

---

1827 p. 254.): „wenn die strenge Genauigkeit der Radien nothwendig wäre, welche die Theorie für die Oberflächen der Gläser fordert, so würde es *gänzlich unmöglich* seyn, ein Objectiv darzustellen, das eine strenge Prüfung aushielte; glücklicher Weise ist dieſs aber nicht der Fall, sondern einige Abweichung schadet dem Fernrohre nicht wesentlich." Diese Bemerkung, die in der That etwas seltsam klingt, sucht er durch Experimente zu bestätigen, die mit absichtlich unrichtigen Gläsern angestellt wurden. Nach der von ihm gewählten Anordnung, wo der zweite und dritte Radius gleich werden, hätten seyn sollen die Halbmesser des Tafelglases = 28,05 und 26,4, des Flintglases = 26,4 und 264; aber der erste wurde 23,4 genommen, gleichwohl fand er „the result satisfactory," die sphärische Aberration „schien" vollkommen ausgeglichen u. s. w. Er giebt aber nicht an, wie strenge die Proben waren, denen das Glas unterworfen wurde. — Der Versuche sind übrigens mehrere, deren bald günstige, bald ungünstige Erfolge hier anzuführen nicht der Ort ist. Barlow scheint seiner Regel, die beiden an einander anschlieſsenden Halbmesser gleich zu machen, darin einen Vorzug vor Herschel's Vorschrift beizulegen, daſs die letztere eine streng genaue Darstellung der geforderten Radien nöthig mache, indem selbst eine geringe Abweichung merkliche Fehler hervorbringe, jene Regel dagegen mehr Wahl in der Zusammenordnung zweier Gläser frei lasse.

gel's Theorieen gewiſs hier so gut, als bei den Doppel-Objectiven, groſse Verbesserungen gestatten. Santini berechnet, unter der Voraussetzung, daſs die mittlere Linse, welche concav und aus Flintglas ist, gleichseitig werde, eine solche zusammengesetzte Linse, aber indem er, wie man es immer thun sollte, den genauen Weg der Strahlen durch diese Linse berechnet, findet er, freilich für eine Oeffnung, die 0,09 der ganzen Brennweite ist, eine Abweichung wegen der Kugelgestalt, die bis auf 0,003 geht, also gröſser ist, als wir sie vorhin gestatten wollten.

Die dreifachen Objective haben allemal den Nachtheil, daſs sie durch die Reflexion des Lichtes bei den öftern Uebergängen aus Glas in Luft und umgekehrt mehr Licht verlieren. Wenn man also ihnen nicht eine solche Vorzüglichkeit geben kann, daſs sie mehr als hinreichende Oeffnung erlauben, um diesen Verlust zu ersetzen, so ist es nicht vortheilhaft, sich ihrer zu bedienen. Allerdings wäre es nun wohl der Mühe werth, die Frage, ob nicht noch gröſsere Vorzüge der Fernröhre auf diesem Wege zu erreichen wären, einer genauen Untersuchung zu unterwerfen und besonders auch zu sehn, ob sich unter den verschiedenen Glasarten, die wir jetzt besitzen, nicht drei verschiedene vereinigen lieſsen, die geeignet wären, das secundäre Spectrum aufzuheben, welches bei zwei Gläsern allemal noch übrig bleibt, wenn es auch nicht von so sehr nachtheiligem Einflusse ist. Da aber diese Untersuchung viel zu weit aussehend ist, um hier von mir unternommen zu werden, und alles bisher geleistete als ungenügend angesehen werden kann, so lasse ich alle weitere Untersuchungen über dreifache Objective ganz vorbei. Oriani[1] hat ein dreifaches Objectiv aus drei gleichseitigen Linsen vorgeschlagen, das er, als leicht ausführbar, empfiehlt; ich finde aber nicht, daſs er durch eine strenge Berechnung des Weges der Lichtstrahlen sich von der Güte desselben überzeugt hätte, und dieses scheint mir hier, wo man nur näherungsweise rechnet, nöthig zu seyn, um die aus den unbeachtet gelassenen Gröſsen entspringenden Fehler richtig zu beurtheilen.

---

1 Memorie della società italiana. III. 664.

Nachrichten von einigen andern Bemühungen, um achromatische und aplanatische Linsen darzustellen.

Da die Zahl der Glasarten und der durchsichtigen festen Körper, deren wir uns als Linsen in Fernröhren bedienen können, nur geringe ist, bei den flüssigen Körpern hingegen eine viel gröſsere Auswahl statt findet, so ist man oft wiederholt auf den Gedanken zurückgekommen, daſs man sich vielleicht statt einer der Glaslinsen eines zwischen Gläsern eingeschlossenen flüssigen Körpers bedienen könnte, um die Aufhebung der Farbenzerstreuung zu Stande zu bringen.

Da die frühern Vorschläge dieser Art ganz ohne Erfolg geblieben sind, so kann man Blair als den ersten ansehn, der sich Mühe gegeben hat, hierzu taugliche Flüssigkeiten zu entdecken[1]. Er fand, daſs viele Flüssigkeiten eine starke Farbenzerstreuung gäben und daher statt des Flintglases gebraucht werden könnten; aber manche derselben zeigten sich zu ungleichförmig in ihrer Masse, um gute Dienste zu thun, manche hatten, bei erheblicher Farbenzerstreuung, doch zu wenig Brechungskraft, um die übrigen Fehler der einfachen Objective aufzuheben. Unter den Linsen, die Blair auf diese Weise als farbenlos erhielt, giebt er eine als merkwürdig an, die bei allen vier Brechungen die Strahlen stärker convergirend machte und dennoch die Farben aufhob. Diese bestand aus zwei convexen Glaslinsen, deren Halbmesser $r:\varrho$ wie $1:6$ waren und zwischen denen Terpenthinöl eingeschlossen war; sie gab farbenlose Bilder, war aber zur Wegschaffung der Abweichung wegen der Kugelgestalt nicht geeignet. Bei diesen Versuchen wurde Blair zuerst auf die Schwierigkeit geleitet, die schon oben, als aus dem secundären Spectrum entstehend, angeführt ist. Er fand nämlich, daſs nur bei schwächer brechenden Medien die grünen Strahlen in der Mitte des prismatischen Farbenbildes liegen, daſs sie dagegen im Flintglase, in den metallischen Auflösungen und in den wesentlichen Oelen zu den weniger brechbaren gehören, in den Mitteln dagegen, welche Salzsäure und Salpetersäure enthalten, eine stärkere Brechung leiden, als der Mitte des Bildes entspricht. Daſs aus diesem Grunde, bei der Vereinigung der äuſsersten Strahlen, keine Vereinigung der mitt-

1 G. VI. 129.

leren Strahlen möglich sey, ist schon früher erwähnt worden. Blair fafste bei dieser Bemerkung einer so ungleichen Lage derjenigen Strahlen, die wir sonst als die mittlern anzusehen pflegen, den richtigen Gedanken, durch eine Verbindung zweier Linsen aus Flüssigkeiten von der eben vorhin erwähnten entgegengesetzten Beschaffenheit diesen Nachtheil aufzuheben, er fand aber nachher, dafs Mischungen verschiedener Flüssigkeiten gestatteten, eben den Zweck durch *eine* Linse zu erreichen.

Diese Untersuchungen, so sehr sie auch die Aufmerksamkeit der Physiker auf sich zogen, sind dennoch lange ohne weiteren Erfolg geblieben. So wichtig nämlich auch von der einen Seite der Gebrauch der Flüssigkeiten werden könnte, weil man unter ihnen leichter eine solche Wahl, dafs die secundären Spectra unmerklich würden, zu treffen im Stande wäre, so zog man theils die unveränderlich gleiche Dauer solcher Objective in Zweifel, theils machte man, vorzüglich Fraunhofer, die gewifs richtige Bemerkung, dafs ungleiche Temperatur die Brauchbarkeit eines Fernrohrs mit einer eingeschlossenen Flüssigkeit allemal stören würde. Wenn nämlich diese flüssige Linse bei einem Wechsel der Wärme kälter wird, so senken sich die kälter gewordenen Theile herab und haben ein anderes Brechungsvermögen, als die noch nicht erkalteten, und dadurch entsteht eine Undeutlichkeit, die selbst bei kleinen Aenderungen der Wärme auf eine sehr störende Weise merklich ist[1].

Ungeachtet dieser Besorgnisse über den Gebrauch flüssiger Linsen sind sie dennoch kürzlich auf's Neue von Barlow und dem jüngeren Blair empfohlen worden[2]. Der letztere bemerkt, dafs er sich von der Unveränderlichkeit der von seinem Vater erfundenen Fernröhre, in welchen die Farben durch ein die Zerstreuung der Farben in eben dem Verhältnisse, wie das Kronglas, bewirkendes Fluidum aufgehoben werden, überzeugt habe. Er besitzt nämlich ein seit 30 Jahren verfertigtes Fernrohr dieser Art, das noch immer die gewöhnlichen achromatischen Fernröhre von eben der Brennweite übertrifft und das in der ersten Zeit zwar durch Absetzung einiger kleinen Krystalle eine kleine Aenderung erlitten, dann aber sich immer gleich erhalten hat. Um diesem — wenn gleich geringen — Nachtheile

---

1 G. LVI. 277.
2 Edinb. Journ. of Science by Brewster. VII. 335.

kleiner Aenderungen auszuweichen, sey nachher ein anderes Fluidum angewendet worden, und dieses besitze die Eigenschaft, eine vollkommene Correction der chromatischen Abweichung zu bewirken, weil es die verschiedenfarbigen Strahlen ganz genau in eben dem Verhältnisse wie das Kronglas zerstreue. Die Unveränderlichkeit dieser Linsen werde, glaubt Blair, die der gewöhnlichen achromatischen, zwischen denen sich endlich doch Staub einschleicht, übertreffen, wenn man sie aus zwei Linsen mit dazwischen eingeschlossener Flüssigkeit bilde, aber freilich bedürfe man bei den Linsen, wo die sphärische Abweichung ganz corrigirt werde, dreier Glaslinsen, unter denen zwei ohne zwischenliegende Flüssigkeit auf die gewöhnliche Weise an einander liegen. Die bis dahin wirklich ausgeführten Fernröhre waren indefs alle nur von kleinen Abmessungen und gestatteten noch keinen sichern Schlufs auf einen eben so guten Erfolg bei grofsen Oeffnungen. Aber Barlow hat nun wirklich solche Fernröhre von $3\frac{1}{4}$ Zoll Oeffnung und von 6 Zoll (= 67 paris. Lin.) Oeffnung ausgeführt, welche beide von erwünschter Wirkung seyn sollen. Barlow theilt darüber Folgendes mit[1]. Die zwischen zwei richtig geschliffenen Spiegelgläsern eingeschlossene Flüssigkeit ist Schwefelkohlenstoff (*sulfuret of carbon*)[2], und diese corrigirende Linse wird beträchtlich entfernt von der vordern Spiegelglaslinse aufgestellt; dieser Abstand geht bis auf die halbe Brennweite der vordern Linse und kann selbst noch weiter gehn. Diese Entfernung gewährt, wegen der hier schon in einen sehr engen Raum gesammelten Strahlen, den Vortheil, dafs diese Linse viel kleiner, als die Oeffnung des Fernrohrs oder als der Durchmesser der vordern Linse, werden darf, und indem sie kaum den halben Durchmesser zu haben braucht, mit eben so viel Leichtigkeit für 12 Zoll Oeffnung ausgeführt wird, als bei einer Oeffnung von 6 Zoll der Fall wäre, wenn diese flüssige Linse sogleich an der Oeffnung selbst angebracht würde. Das Verhältnifs der Farbenzerstreuung gegen Spiegelglas ist, nach Verschiedenheit des Glases, zwischen 0,298 und 0,334; das Brechungsverhältnifs selbst aber = 1,645, ungefähr wie für Flintglas, und wegen dieser Eigenschaften würde (wie Barlow

1 Edinb. Journ. of Science by Brewster. VIII. 93. Poggend. Ann. XIV. 313.

2 Vergl. Berzelius Chemie I. 299.

angiebt) ein Fernrohr dieser Art von 10 oder 12 Fuſs Länge ebensoviel leisten, als die bisherigen achromatischen Fernröhre von 16 bis 20 Fuſs Länge. In Barlow's Fernrohre hat die Spiegelglaslinse 6 Zoll Durchmesser und 48 Zoll Brennweite, die flüssige Linse steht 24 Zoll von ihr entfernt, und die Brennweite der vereinigten Linse ist 62½ Zoll; die von der flüssigen Linse her convergirenden Strahlen bilden also einen Winkel so groſs, als wenn sie von einer 6zölligen, 10 Fuſs 5 Zoll entfernten Linse herkämen, indem der Abstand des Brennpunctes von der flüssigen Linse = 62½ Zoll, ihr Durchmesser = 3 Zoll ist, also 6 Zoll Oeffnung mit 125 Zoll Abstand zusammengehört. In der Möglichkeit, die flüssige Linse etwas zu nähern oder zu entfernen, ist hier auch noch ein Mittel zur genauen Berichtigung des Focus gegeben. Die Proben, die Barlow von der Vorzüglichkeit dieses Fernrohrs giebt, sind folgende. Der Polarstern (mit seinem kleinen Nebensterne) erscheint als ein schönes Bild einer Sonne und eines Planeten. Der Nebenstern des Aldebaran ist so glänzend, daſs man ihn sogleich auf den ersten Blick erkennt. Auch der kleine Stern bei α der Leier ist deutlich zu erkennen; ε Persei und ω des Fuhrmanns erscheinen deutlich doppelt; ξ des Wassermanns ist so schön begrenzt, daſs man über die, bisher zuweilen bezweifelte, Ungleichheit in der Gröſse beider Sterne durchaus nicht zweifelhaft bleibt. Später hat Barlow eine Glaslinse von 78 Zoll Brennweite mit der flüssigen Linse, die in 40 Zoll Entfernung aufgestellt ist, so angebracht, daſs der Brennpunct der verbundenen Linsen in 104 Zoll Entfernung fällt; dieses Fernrohr leistet bei 7,8 Zoll Oeffnung so viel als sonst ein Fernrohr von 18 Fuſs Länge[1]. Die Halbmesser der Gläser, die das Fluidum einschlieſsen, sind 144 Zoll an der Seite nach dem Auge und 30 Zoll an der andern Seite; die Halbmesser der Glaslinse 56, 4 und 144 Zoll.

Die Entfernung der stärker zerstreuenden Linse von der andern hat auch Rogers in Beziehung auf Flintglas in Vorschlag gebracht, um mit kleinern, recht guten Stücken Flintglas auszureichen. Er empfiehlt[2], zu der corrigirenden Linse nicht eine einfache Linse, sondern eine zusammengesetzte Linse zu nehmen, deren convexes Glas aus Kronglas, das concave aus

1 Biblioth. univ. 1829. Decbr. p. 273.

2 Brewster's Edinb. Journ. of Science. IX. 126. Poggend. XIV. 325.

Flintglas bestände. Diese sollen so verbunden werden, dafs sie auf die mittleren Strahlen als gar nicht brechend wirken, wo dann die Brennweite des vordern Objectives für die mittleren Strahlen ungeändert bleibe, für die rothen und violetten Strahlen aber die Correction auf die gehörige Weise erleide. Ob seine Formeln, die er in einer Abhandlung der Astronomischen Societät vorgelegt hat, genau sind, kann ich nicht beurtheilen, da die Abhandlung noch nicht vollständig scheint bekannt gemacht zu seyn. Dafs bei einer etwas veränderten Stellung der Correctionslinse, durch eine Annäherung an die vordere Linse oder Entfernung von derselben, die noch etwa übrigen Fehler genau verbessert werden, sieht er sowohl als auch Barlow als einen entschiedenen Vorzug dieser Anordnung an.

Historische und literärische Notizen.

Obgleich, wie Blair aus einem Briefe Newton's an Oldenburg zeigt[1], schon Newton an eine Aufhebung der Farbenzerstreuung gedacht und die Anwendbarkeit von Flüssigkeiten dazu als möglich angesehen hat, so sieht man doch aus seiner Optik[2], dafs er, durch unvollkommene Experimente geleitet, diesen Gedanken ganz aufgegeben und die Meinung gefafst hat, das Gesetz der Farbenzerstreuung sey bei allen Körpern gleich. Dieser Irrthum hat vermuthlich beigetragen, die weitere Untersuchung zu hindern, da selbst Dollond noch sich anfangs dadurch von der Untersuchung dieses Gegenstandes zurückhalten liefs. Indefs soll doch schon Chester More Hall im Jahre 1733 durch eine Reihe von Versuchen dahin gekommen zu seyn, achromatische Fernröhre verfertigen zu lassen; er gab den Optikern die Radien für die Gläser so an, dafs die Farbenzerstreuung nicht allein, sondern auch die aus der sphärischen Gestalt entspringenden Fehler corrigirt wurden, und hat Objective von 20 Zoll Brennweite und 2½ Zoll Oeffnung zu Stande gebracht[3]. Aber dieses ist auch alles, was man weifs, und seine Erfindung mufs nicht allein nachher vergessen worden seyn, sondern auch in jener Zeit sehr wenig Aufmerksamkeit erregt haben, da Dollond, wie aus allen Umständen erhellt, von einer solchen Erfindung

1 Phil. Transact. of the Edinb. Soc. IV. 1.
2 Optice Lib. I. Pars 2. Exp. 8.
3 Philos. Magaz. 1829. Sept. p. 233.

gar nichts gewufst hat und allem Anschein nach erst durch den über das ihm ertheilte Patent erhobenen Streit[1] darauf aufmerksam geworden seyn mag.

Euler's 1747 zuerst geäufserter Gedanke, dafs eine Aufhebung der Farbenzerstreuung möglich sey, fand daher zuerst grofsen Widerspruch und wurde von John Dollond selbst verworfen. Es war, um diesen zu neuen Versuchen zu veranlassen, erst nöthig, dafs Klingenstierna die Unmöglichkeit einer strengen Richtigkeit des Newton'schen Satzes zeigte. Hierdurch ward, erst im Jahre 1757, J. Dollond zu eignen Versuchen über die Farbenzerstreuung in verschiedenen Glasarten veranlafst, worauf es ihm denn bald gelang, sobald er erst von der Möglichkeit, die Farben aufzuheben, überzeugt war, achromatische Fernröhre in nach und nach immer gröfserer Vollkommenheit zu verfertigen.

Die theoretischen Untersuchungen Clairaut's, d'Alembert's und anderer haben für uns wenig Interesse mehr[2], da Euler, nachdem er eine Zeit lang sich von dem Erfolge der Dollond'schen Versuche nicht überzeugen konnte, endlich eine sehr durchgeführte Theorie der achromatischen Linsengläser in seiner Dioptrik lieferte[3]. In der Folge hat Klügel diese Theorie aufs Neue dargestellt und zum Theil verbessert[4]. Aber bei allen diesen Darstellungen[5] war noch manches übersehn worden und die Ausführung der achromatischen Fernröhre fand an der Theorie keine hinreichende Unterstützung, da die von John und Peter Dollond befolgten Regeln nicht bekannt geworden und die neuern Regeln nicht ausreichend waren; dazu kam die grofse Schwierigkeit, dafs das vollkommen reine Flintglas selten in grofsen Massen zu erhalten war. Die Bemühungen, gutes Glas von starker Farbenzerstreuung zu erhalten, gehören nicht hierher[6]. Dafs Fraunhofer zuerst durch Darstellung eines

---

1 G. XXXIV. 243.

2 Priestley Gesch. der Optik übers. v. Klügel. S. 341.

3 Dioptrica, auct. L. Eulero. Petrop. 1769. Pars I. Cap. 3, 6. u. 7.

4 Theils in seiner Dioptrik, theils in Abhandlungen, in den Comment. Soc. Gotting. XIII. 28. G. XXXIV. 276.

5 Ueber deren Werth v. Bohnenberger einige wichtige Bemerkungen mittheilt. Astr. Zeitschr. von v. Lindenau und v. Bohnenberger I. 277. 385.

6 Vergl. Art. *Flintglas*, wo Faraday's neueste Versuche mit einem Glase, das boraxsaures Blei enthält, vom specifischen Gewichte

solchen Glases, durch neue Methoden, um die Brechung und Farbenzerstreuung seiner Gläser zu bestimmen, und durch genaue Berechnung der richtigen Form der Gläser neue und grofse Fortschritte in der Kunst, achromatische Fernröhre zu verfertigen, gemacht habe, ist schon im Vorigen erwähnt, wo auch die wichtigsten, mir bekannt gewordenen neuern theoretischen Bemühungen angeführt sind.

Was die praktische Ausführung betrifft, so ist bekannt, dafs die gelungene Bearbeitung der Fraunhofer'schen Gläser grofsentheils durch die von ihm selbst angegebenen Maschinen zur Schleifung und Polirung bewirkt worden ist. Diese Maschinen sind nirgends beschrieben worden; aber Prechtl giebt in seiner Dioptrik mit sehr grofser Umsicht auf alle einzelne Umstände die Einrichtung solcher Maschinen an und scheint überhaupt das Praktische des Glasschleifens, die Centrirung der Gläser u. s. w. dort so gut, als sich so etwas durch Worte und Zeichnungen darstellen läfst, sehr gründlich erklärt zu haben. Seine Vorschriften scheinen zwar nicht alle durch wirkliche Ausführung im Grofsen schon erprobt zu seyn, aber sie sind so dargestellt und scheinen so sehr den auf alle Umstände achtenden, mit den Forderungen der höchsten Genauigkeit vertrauten Praktiker zu verrathen, dafs man ihnen wohl bedeutendes Zutrauen schenken darf. Aus dem früher Angeführten erhellt aber wohl, dafs dieser Gegenstand noch der Vervollkommnung fähig ist und dafs wir vermuthlich noch nicht den höchsten Gipfel dessen, was zu leisten möglich ist, erreicht haben.

Zum Schlusse mufs ich doch noch die kürzlich von Pritchard verfertigten Diamantlinsen und Saphirlinsen erwähnen. Sie sind als einfache *Mikroskope* vorzüglich brauchbar und geben, wegen der starken Brechung der Strahlen, eine geringere Abweichung wegen der Kugelgestalt, weil man nämlich gröfsere

---

= 5,3, woraus gute Fernröhre sich sollen verfertigen lassen (vergl. Schumacher's astron. Nachr. No. 150.), noch nicht angeführt werden konnten. Rücksichtlich der Bestandtheile des Glases überhaupt scheint insbesondere die durch Döbereiner betretene Bahn, dasselbe nach stöchiometrischen Verhältnissen zusammenzusetzen, zu sehr erspriefslichen Resultaten zu führen. Hiernach ist die Zusammensetzung von Körner's Flintglas ($\dot{K} + 6\dot{S}i$) zu $2(\dot{P}l + 2\dot{S}i)$ und des Kronglases ($\dot{C}a + 2\dot{S}i$) zu $2(\dot{N}a + 6\dot{S}i)$. Vergl. Kastner's Archiv. Bd. XVI. und Art. *Silicium*.

Radien, um gleiche Vergrößserung zu bewirken, gebrauchen kann. Die grofsen Schwierigkeiten des Schleifens, die vorzüglich beim Diamant statt finden, hat PRITCHARD dadurch überwunden, dafs er den Diamant erst an andern Diamanten so abreibt, dafs er an der einen Seite eine ungefähr sphärische Form erhält, dann erst wird die eine Seite in einer Kugelschale, die mit Diamantpulver bestreut ist, völlig richtig geschliffen; die eine Seite macht man, der leichtern Arbeit wegen, lieber eben[1], so dafs die Linse plan-convex ist. *B.*

Lithium.

ARFVEDSON entdeckte 1817 ein dem Kali und Natron verwandtes Alkali, welches er Lithion oder Lithon nannte und welches das Oxyd eines besondern, noch wenig bekannten Metalls, des Lithiums, ist.

Das *Lithium* (6,5 Lithium auf 8 Sauerstoff) ist das seltenste Alkali; es findet sich nur in einigen seltenen Fossilien in gröfserer Menge, in verschiedenen Mineralwassern in höchst geringer. Das *Lithonhydrat* gleicht im äufsern Ansehen, Schmelzbarkeit und Aetzkraft dem Kali- und Natron-Hydrat, doch zeigt es sich nicht so leicht in Wasser löslich. Die *Lithonsalze* ertheilen der Flamme des Weingeists und des Löthrohrs eine rothe Farbe; sie sind sämmtlich in Wasser löslich, das *kohlensaure* und *phosphorsaure Lithon* jedoch schwierig, daher die in nicht zuviel Wasser gelösten übrigen Lithon-Salze durch kohlensaures und phosphorsaures Ammoniak gefällt werden, während schwefelsaure Alaunerde und salzsaures Platinoxyd, welche die Kalisalze niederschlagen, mit Lithonsalzen keine Fällung bewirken. Das *schwefelsaure Lithon* schiefst in wasserhaltenden Säulen und Tafeln an; das *salpetersaure* in rhombischen Säulen, die an der Luft sehr schnell zerfliefsen. Das *Chlorlithium* krystallisirt gleich dem Chlorkalium und Chlornatrium in Würfeln, die jedoch an der Luft schnell zerfliefsen.

G.

Litrameter.

Dieser Name ist durch HARE einem längst bekannten, von

1 BREWSTER Journ. of Science; new Series. 1829. Juli p. 153. Vergl. *Mikroskop.*

ihm abèr als neu betrachteten, Instrumente gegeben worden, welches dazu dienen soll, das specifische Gewicht der Flüssigkeiten mit grofser Genauigkeit aufzufinden [1]. Es besteht aus zwei Glasröhren, oben in einen gemeinschaftlichen Raum vereinigt, um durch Exantlirung gleichmäfsig luftleer gemacht zu werden, während die eine unten in ein Gefäfs mit destillirtem Wasser, die andere in ein solches mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gesenkt ist. Beide Flüssigkeiten werden dann durch den äufseren Luftdruck zu Höhen getrieben, welche ihren specifischen Gewichten umgekehrt proportional sind, und wenn man diese Höhen mit grofser Schärfe mifst, so kann hieraus allerdings das specifische Gewicht gefunden werden. Es ergiebt sich jedoch augenblicklich, dafs der Apparat kein anderer ist, als der unlängst durch Musschenbroek angegebene, welchen Scanegatti unter etwas abgeänderter Gestalt als *Hygroklimax* und Mester als *Panydrometer* empfohlen haben. Aufserdem ist bereits oben [2] erwiesen worden, dafs man zwar diesem Apparate die Brauchbarkeit im Allgemeinen nicht absprechen kann, dafs er jedoch andern minder kostbaren und ungleich bequemeren an Schärfe bei weitem nachsteht, weswegen er die ihm gewordene vielfache Beachtung kaum verdiente. *M.*

L o g.

Das Log; Le Loch; *The Log*; ursprünglich ein englisches Wort, das ein Stück Holz bedeutet; in der Navigation ein Instrument, um die Geschwindigkeit des Schiffes zu messen.

Wenn auf dem freien Oceane der Compafs dem Schiffe die *Richtung* seines Weges bezeichnet, so mifst der Log die *Länge* desselben. Bevor also die Erfindung des ersteren die Seefahrer von den Küsten sich entfernen liefs, war auch für das letztere kein Bedürfnifs vorhanden. Das Log erscheint daher sehr spät in der Geschichte der Schifffahrt: eine Reise nach Ostindien vom J. 1607 in Purchas Sammlung erwähnt dasselbe zuerst;

---

1 Aus Franklin's Journ. T. I. p. 157 in Journ. of Sciences and Arts. XLII. p. 384. Jahrb. d. Polytechn. Institutes XII. 94. Phil. Mag. and Ann. of Phil. IV. p. 187.

2 Dieses Wörterb. Bd. I. S. 379.

von da an kommt es bei den meisten damaligen Schriftstellern über Navigation vor, und der Jesuit FOURNIER gedenkt desselben nur kurz in seiner Hydrographie im J. 1649 als einer bei den Engländern seit einigen Jahren aufgekommenen Praxis. Dieses an sich geringfügige Werkzeug, dessen Erfinder man nicht kennt, ist dadurch merkwürdig, dafs es seit zwei Jahrhunderten in seiner Construction sich gleich geblieben und durch keinen andern Vorschlag verdrängt worden ist. Die Idee desselben besteht in Folgendem. Vom segelnden Schiffe wird ein schwimmender Körper an einem langen Faden ausgeworfen; dieser ist dann als ein ruhender Punct zu betrachten, von welchem das Schiff sich entfernt; der nachgezogene Faden mifst diese Entfernung für einen gegebenen Zeitraum, z. B. eine halbe Zeitminute, und aus diesem kurzen Versuche wird dann auf die Ortsveränderung des Schiffes in einer ganzen Stunde ein freilich sehr unsicherer Schlufs vom Kleinen aufs Grofse gemacht. Der schwimmende Körper oder das Log selbst ist ein hölzerner Quadrant von 4 bis 6 Zoll Radius, an dessen Kreisrand A B ein Streifen Blei eingelassen ist, so schwer, dafs die Spitze C nur eben aus dem Wasser herausragt. In A und B sind zwei Schnuren befestigt, die in D sich gabelförmig vereinen; die dritte Schnur CD ist mit dem Pflocke C in Verbindung, der nicht allzufest in das Logbret eingesteckt ist. Alle drei vereinigen sich in die Logleine. Vermöge des Bleirandes schwimmt das Logbret aufrecht und setzt mithin dem Wasser in der Richtung des Zuges die gröfste Fläche entgegen. Ein plötzliches Anhalten der Linie nach gemachter Beobachtung bringt auf die Schnur CD einen schnellen Ruck hervor, welcher das Zäpfchen auszieht, so dafs nun das Logbret flach auf dem Wasser liegt, mithin dem Einziehen desselben wenig Widerstand entgegengesetzt wird. Die Logleine selbst ist hin und wieder durch eingeklemmte Zeichen oder *Knoten* von farbiger Wolle abgetheilt nach folgenden Regeln. Der mittlere Grad des Erdmeridians hält 57040 Toisen, also eine Erdminute oder die nautische, auch sogenannte italienische Meile 5704 par. Fufs. Ein Schiff, welches in einer Stunde Zeit eine solche Meile zurücklegt, hätte also Geschwindigkeit in 1 Min. $= \frac{5704'}{60} = 95'$; in einer halben Minute $47\frac{1}{2}$ par. oder nahe 51 engl. Fufs. Nach diesen Intervallen wird die Logleine in Knoten (noeuds, *knots*) eingetheilt, wobei auch halbe

Fig. 49.

und Viertelsknoten oder besser noch Zehntheile statt finden. Das erste Zeichen ist um 50 bis 60 Fufs vom Logbrete entfernt, damit vor Anfang der Messung das Log sich hinreichend aus den Strudeln des Schiffes entfernen und die ihm vorher ertheilte Geschwindigkeit verlieren könne. Das Intervall von 30 Secunden wird vermittelst einer kleinen Sanduhr bestimmt. Zur Operation selbst werden drei Personen erfordert. A hält einen leichten hölzernen Haspel, auf welchem die Leine aufgewickelt ist, mit der Axe horizontal, B hält das Sandglas, und der Beobachter C wirft das Log aus, dessen Leine er lose zwischen den Fingern durchgleiten läfst. In dem Augenblicke, wo ihm der Anfangsknoten der Logleine durch die Hand schlüpft, kehrt B auf seinen Ruf das Sandglas um, und giebt hinwieder, wenn dieses abgelaufen ist, dem C ein Zeichen, die Leine anzuhalten. Dieser zählt dann die abgelaufenen Knoten und giebt nach diesen den Weg in Knoten oder Gradminuten an, welchen das Schiff im Laufe einer Stunde zurücklegt. Ein Knoten Fahrt würde demnach dem Schiffe eine Geschwindigkeit von $1\frac{1}{2}$ par. Fufs in der Secunde geben; die gewöhnliche, gemäfsigte Bewegung von 4 bis 5 Knoten wäre einer Geschwindigkeit von 7 Fufs gleich. Die bei starkem Winde eintretende Fahrt von 7 bis 8 Knoten würde 11 bis 12 Fufs in der Secunde betragen, so dafs man in 24 Stunden wohl 30 bis 40 deutsche Meilen zurücklegen kann. Einige wollen bei vorzüglichen Seglern im Sturme eine Schnelligkeit von 11 Knoten oder 17 Fufs beobachtet haben, was wohl übertrieben seyn mag, weil selbst bei der besten Construction des Fahrzeuges das Wasser nicht Fallgeschwindigkeit genug hätte, die nicht unbeträchtliche Furche hinter dem Schiffe zu schliefsen. Auf jeden Fall ist aus diesen nicht unbedeutenden Geschwindigkeiten ersichtlich, welche zerstörende Erschütterungen erfolgen müssen, wenn ein Projectil von solcher Masse durch einen Fels oder eine Sandbank plötzlich in seinem Laufe aufgehalten wird.

Dafs diese Methode, den durchlaufenen Weg des Schiffes zu bestimmen und hieraus mit Zuziehung der durch den Compafs angegebenen Richtungen seine 24stündige Ortsveränderung durch Zerlegung nach Sinus und Cosinus des Richtungswinkels abzuleiten (die sogenannte Schiffsrechnung; estime; *the Ships reckoning*), kein genaues Resultat gewähren könne, ist schon aus allgemeinen Ansichten einleuchtend und wird

auch durch eine lange Erfahrung bestätigt. Leider sind die Ursachen dieser Unvollkommenheit so verwickelt, dafs wohl zu ihrer Verminderung, schwerlich aber zur gänzlichen Abhülfe Hoffnung gefafst werden kann; und hierin ist auch wohl der Grund zu suchen, dafs seit zwei Jahrhunderten noch keine wesentliche Verbesserung in dieser für die Sicherheit der Schifffahrt so wichtigen Operation eingetreten ist. Diese Mängel bestehen hauptsächlich in Folgendem:

1) In der bedeutenden Vergröfserung aller Fehler, indem vom Einfachen auf das 120fache geschlossen wird.

2) In der allzugewagten Voraussetzung, dafs der Wind, obwohl er auf dem Meere immerfort, nicht mit Unterbrechungen, wie auf dem Lande, weht, stets gleiche Stärke behalte, oder dafs die zufällig während einer halben Minute beobachtete Schiffsgeschwindigkeit das Mittel zwischen den Bewegungen einer ganzen Stunde seyn möge.

3) In den grofsen Schwankungen des Schiffes, das durch grofse Wellen oder kleine Aenderungen in der Richtung des Windes leicht aus seinem Laufe gebracht wird, und in der Schwierigkeit, das Schiff, besonders wenn es vor dem Winde geht, richtig zu steuern, wodurch seine Bahn nicht eine gerade, sondern eine gebrochene Linie bildet, deren Endpuncte einander näher liegen, als die Geschwindigkeit es angeben würde.

4) In der unsichern Länge der Logleine, die durch Trocknifs und Nässe und stärkere oder schwächere Anspannung verändert wird; Mängel, denen durch die bei Mefsschnüren anzuwendenden Mittel nicht abzuhelfen ist, indem das öftere Benezzen jede Bedeckung von Harz oder Fett abwaschen würde.

5) In der Beschaffenheit der gewöhnlichen Sanduhren, die, keineswegs hermetisch verschlossen, dem Einflusse der Feuchtigkeit und einer daraus folgenden Störung des Laufs offen stehen.

6) In der ungleichen Schnelligkeit, mit welcher die Beobachter des Sandglases und der Logleine einander ihren Ruf mittheilen und ausführen; eine Säumnifs, die man auf 1 Secunde anzuschlagen beliebt hat.

7) In dem etwelchen Zuge, den das Abwickeln der Schnur vom Haspel, besonders bei schneller Fahrt, auf das Log ausüben möchte.

8) In der Möglichkeit irgend einer Fortbewegung des Logs

durch das Kielwasser des Schiffs, durch Wind und Wellenschlag.

9) In den Strömungen des Meeres, welche je nach ihrer Richtung und Schnelligkeit der beobachteten Geschwindigkeit entgegenwirken.

Diesen Mängeln hat man auf verschiedene Weise zu begegnen gesucht: 1) durch Verkürzung der Logleine oder veränderte Zeitdauer des Secundenglases; 2) durch Anwendung verbesserter Logs und eigentlicher Strommesser. Indem man die Knoten der Logleine um ein paar Fuſs verkürzte, hatte man zur Absicht, den möglichen Fehler der Methode wenigstens auf die unschädlichere Seite fallen zu machen, weil auf diese Weise das Resultat der Schiffsrechnung gröſser ausfiel, also der Seefahrer sich einer bevorstehenden Gefahr näher glauben muſste, als er wirklich war[1]. Daſs hierdurch die Schiffsrechnung mit einem constanten Fehler behaftet wurde, kam nicht in Betracht, und eben so willkürlich waren auch die Aenderungen, die man sich mit der Zeitdauer des Secundenglases erlaubte. Besser als diese unbegründeten Vorschriften war der Rath, die, der schlechten Verschlieſsung wegen, veränderliche Zeitdauer der Sanduhr durch die Schläge eines einfachen Secunden- oder Halbsecundenpendels von Zeit zu Zeit zu prüfen, das durch Anhängung einer Bleikugel an einem Faden von angegebener Länge erhalten wurde. In neuern Zeiten kann man sich hermetisch verschlossener Sanduhren, aus einer in der Mitte verengten Glasröhre bestehend, zu diesem Zwecke bedienen.

Unter den vielen Abänderungen des Logs, die von Zeit zu Zeit vorgeschlagen wurden, verdient der Vorschlag des berühmten Akademikers Bouguer besondere Betrachtung[2]. Sein Schwimmer ist ein hölzerner Konus von 6 Zoll Seite und 3 Zoll Basis, unterhalb ein wenig ausgehöhlt, um ein Gewicht aufzunehmen, das an einer durch die Axe des Konus gleitenden Schnur aufgehängt ist. Dieses Gewicht besteht aus zwei Eisenblechen von 9 bis 10 Zoll Kante, welche sich in ihren Diago-

1 So setzten Verdun, Bode und Pingré in Folge ihrer Reise nach den Canarischen Inseln im Jahr 1764 die Länge der Logleine auf 45 par. Fuſs, hauptsächlich um dem in No. 6. bemerkten Fehler zu begegnen. Mém. de l'Acad. 1773.

2 Mém. de l'Acad. Ann. 1747.

nalen rechtwinklig durchschneiden. Ein an der Schnur oder Logleine selbst angebrachter Knoten läſst das Gewicht etwa 50 bis 60 Fuſs unter den Schwimmer herabsinken, so daſs es auſser den Bereich der Wirkungen kommt, welche die Unbeweglichkeit des Schwimmers stören können. Bouguer glaubte gefunden zu haben, daſs sein Log nur den fünften Theil der Fortbewegung annehme, welcher das alte Log in Folge jener in No. 8. erwähnten Störungen unterworfen sey, und er räth an, mit beiden zugleich zu experimentiren und das Ergebniſs des alten Logs nach folgender Formel zu corrigiren: wenn a das Resultat des gewöhnlichen, b dasjenige des neuen Logs bezeichnet, so ist die wahre Geschwindigkeit des Schiffs $c = a \mp \frac{a-b}{4}$; das Zeichen — gilt, wenn $a > b$, und + für $b > a$. Nach Bouguer sollte die nämliche Vorrichtung auch zur Entdeckung der Seeströme dienen; doch möchte für diesen Zweck die Tiefe des Versenkers wohl zu gering seyn.

Bouguer's Vorschlag, der, wie wir gesehen haben, von seinen gelehrten Landsleuten unbeachtet blieb, wurde im Jahr 1773 auf der an neuen Untersuchungen fruchtbaren Reise des Capt. Phipps einer etwelchen Prüfung unterworfen, die freilich wegen der geringen Zahl von Beobachtungen nicht sehr entscheidend seyn konnte, doch immerhin zu seinem Vortheil ausfiel. Die Dimensionen desselben waren die doppelten der oben vorgeschriebenen. Phipps räth besonders an, dem eisernen Versenker ein hinreichendes Gewicht zu geben, damit er schnell genug auf seine Tiefe von 50 Fuſs unter den Konus sinke, ehe der horizontale Theil der Logleine ausgestreckt ist.

Die verbesserten Logs der zweiten Art sind eigentliche Strommesser, meistens schiefe Flächen an einer Axe befestigt, die dem andringenden Wasserstoſse seitwärts ausweichen und so eine Axendrehung hervorbringen, deren Wiederholung durch irgend ein Räderwerk aufgezeichnet wird. Einige sind für kurzen Gebrauch und haben mit dem gewöhnlichen Log die in No. 1, 2, 3, 5, 6 und 9 bemerkten Fehler gemein; andere werden längere Zeit im Wasser gelassen; die *perpetual logs* der Engländer, wodurch die in No. 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 gerügten Mängel beseitigt werden und nur die Einflüsse der Miſssteuerungen und die der Strömungen übrig bleiben. In dem wohlbearbeiteten Handbuche der Schifffahrtskunde, welches die

Hamburgische Gesellschaft zur Verbreitung mathematischer Kenntnisse im Jahre 1819 herausgegeben hat, findet sich eine Anweisung, den *Woltman'schen Strommesser*[1] in Verbindung mit der Sanduhr statt des Logs zu gebrauchen. Man hält nämlich denselben an einer hölzernen Stange befestigt auf der vom Winde abgekehrten Seite des Schiffs ins Wasser und notirt die in einer halben oder ganzen Minute gemachten Umläufe. Bei ruhiger See und auf nicht sehr hohen Schiffen ist dieses Verfahren sehr anwendbar, allein unter entgegengesetzten Umständen und bei schneller Bewegung könnten die erschütternden Schwingungen, in welche die Stange geräth, leicht ihr Zerbrechen und den Verlust des Instrumentes herbeiführen. Dagegen würden die fortgehenden Strommesser (*perpetual logs*) den meisten Forderungen genügen, und wohl sollte jede wissenschaftliche Expedition mit solchen Werkzeugen versehen seyn, wäre es auch nur, um unsern mangelhaften Kenntnissen von den Meeresströmungen durch zuverlässige Beobachtung zu Hülfe zu kommen. Eine der einfachsten Constructionen eines solchen Instruments habe ich selbst[2] angegeben, welches vermittelst dreier Räder 100000 Umläufe der Flügel zählt. So viele Vorschläge zu Wegmessern dieser Art seit mehr als einem halben Jahrhunderte gemacht worden sind, so war es doch meist das Complicirte ihrer Einrichtung und die Schwierigkeit ihrer Benutzung, und erforderlichen Falls ihrer Herstellung, was ihrer Einführung in den nautischen Apparat im Wege stand, und wir können nicht umhin, das Urtheil eines Kenners, des oben angeführten Capt. PHIPPS (später Lord MULGRAVE), zu unterschreiben: „*Machines easily repaired or replaced have advantages at sea, which should not lightly be given up for others more specious.*“ *H.*

L u f t b l a s e.

Blase; *Bulla* (selten *bulla aëria*); Bulle d'air; *Air-bladder.*

Die Luftblasen gehören unter die gemeinsten und bekann-

1 Siehe später diesen Artikel, oder Bibliothèque univers. Tom. VI. pag. 258. und EYTELWEIN in den Berliner Denkschriften.

2 HORNER in v. Zach Correspond. astronom. T. III. p. 486.

testen Erscheinungen, aber dennoch ist ihre Erklärung vielfachen, nicht geringen, Schwierigkeiten unterworfen, weswegen es nicht überflüssig erscheinen wird, die bei ihrer Bildung und ihrem Verhalten in Anwendung kommenden physikalischen Gesetze hier anzudeuten.

Unter Luftblase versteht man jedes gröſsere oder kleinere Volumen Luft oder Gas, welches allseitig in irgend eine Hülle eingeschlossen ist, ohne daſs die letztere für sich dabei in Betrachtung kommt. Dem Sprachgebrauche nach wird man nämlich Gefäſse, welche Luft enthalten, z. B. Windkessel, verkorkte Flaschen u. s. w., nicht mit diesem Namen bezeichnen, weil es dabei zunächst nur auf die einschlieſsende Hülle und nicht auf den Inhalt derselben ankommt, und aus eben diesem Grunde unterscheidet man auch die Thierblasen und selbst Seifenblasen durch eine besondere Bezeichnung, obgleich die letzteren dem Wesen nach unter die Luftblasen zu rechnen sind. Wenn dagegen ein Volumen Luft sich in einer beliebig groſsen und willkürlich gestalteten Menge irgend einer Flüssigkeit ruhend oder in Bewegung befindet, so wird man dasselbe durch den Ausdruck *Luftblase* bezeichnen.

Die Luftblasen lassen sich in zwei Classen eintheilen, nämlich zuerst solche, die für sich oder neben einander befindlich von einer dünnen Haut irgend einer Flüssigkeit umgeben sind, und zweitens solche, die einzeln oder in gröſserer Zahl sich in einer Masse von Flüssigkeit befinden; beide Arten zeigen eigenthümliche Erscheinungen. Diejenigen Häutchen, welche zur Bildung von Luftblasen dienen sollen, müssen einen gewissen Grad der Klebrigkeit oder Zähigkeit haben. Aus reinem Wasser lassen sich daher keine Luftblasen bilden, noch weniger aus Alkohol, Aether u. s. w., wohl aber erfolgt dieses leicht bei schmuzigem Wasser, hauptsächlich Seifenwasser, beim Biere, trüben Weine, bei Weingeist, welcher harzige Substanzen aufgelöst enthält, bei fetten Oelen u. s. w. Zur künstlichen Bereitung der Luftblasen bedient man sich meistens des Seifenwassers und kann an den hieraus gebildeten am leichtesten das Verhalten derselben wahrnehmen, wobei jedoch hier von dem *Farbenspiele der Seifenblasen*, als zu den optischen Phänomenen gehörig [1], abgesehn wird. Daſs man ferner solche kleinere

1 S. Art. *Anwandlungen*. Bd. I. S. 307.

oder gröſsere Blasen erzeugen könne, indem man einen Tropfen der etwas zähen Flüssigkeit vermittelst eines kleinen Röhrchens aufbläst, darf als bekannt vorausgesetzt werden.

Ohne den Einfluſs anderweitiger Bedingungen müſsten die Luftblasen eine völlig kugelrunde Gestalt annehmen, weil diese allein dem Zustande des Gleichgewichts der auf sie einwirkenden Kräfte entspricht. Freischwebende Massen tropfbarer Flüssigkeiten nehmen bekanntlich diese nämliche Gestalt in Folge der gegenseitigen Anziehung ihrer einzelnen Theilchen an, allein da letztere bei expansibeln Flüssigkeiten so sehr gering, ihr Streben nach Expansion dagegen so überwiegend ist, welches jedoch durch den Gegendruck der Umgebungen bis zur Herstellung des Gleichgewichts zwischen beiden aufgehoben wird, so läſst sich jene Formbildung schwerlich hiervon ableiten, deren Ursache vielmehr in dem Einflusse der umgebenden Hülle leicht aufzufinden ist. Die einzelnen Theilchen der einschlieſsenden Hülle üben nämlich Anziehung gegen einander aus, wie sich einfach schon daraus ergiebt, daſs sie sich beim Zerplatzen der Blase zu Tropfen vereinigen. Die Dimension der Hülle wird jedoch nur bei der Kugelform ein Kleinstes, und der Anziehung ihrer Theilchen steht bei der leichten Verschiebbarkeit der Elemente des eingeschlossenen expansibeln Fluidums nur dann ein meſsbares, die ganze Kraft derselben überwindendes Hinderniſs entgegen, wenn sie diese Gestalt angenommen hat. Indem also die Elasticität der in die flüssige Hülle eingeschlossenen Luft mit dem Drucke der äuſseren umgebenden ins Gleichgewicht kommt, so steht der zusammenziehenden Kraft jener Hülle, wonach sie die kleinste Ausdehnung zu erhalten strebt, kein anderes Hinderniſs entgegen, als welches aus dem Widerstande bei der Verschiebung der eingeschlossenen und zugleich der umgebenden Lufttheilchen erwächst, und da dieses verschwindend klein ist, so wird allezeit die Kugelform, als der kleinsten Oberfläche bei gleichem Inhalte zugehörig, hervorgehn müssen. Es ist aber die hierbei wirksame Kraft sehr gering und daher wird auch die Form der Luftblasen durch die kleinsten modificirenden Bedingungen verändert, so daſs sie überhaupt nur dann statt finden kann, wenn die Luftblase frei schwebt oder sich in einem widerstandleeren Raume bewegt, welches Letztere aus andern Gründen unmöglich ist. Hängt daher eine Luftblase an dem zu ihrer Bildung gebrauchten Röhr-

chen, so mufs schon durch die stärkere Adhäsion der Flüssigkeit an diesem festen Körper eine Veränderung ihrer Gestalt erfolgen. Abgesehen hiervon sind die Luftblasen nur selten von gleichem specifischen Gewichte mit der äufseren atmosphärischen Luft, indem sie vielmehr durch das Hinzukommen des Gewichts der Hülle dann spec. schwerer sind, wenn sie gemeine Luft enthalten, oder spec. leichter, wenn das eingeschlossene Gas, z. B. Wasserstoffgas oder Knallgas, durch seine gröfsere Leichtigkeit das Uebergewicht der Hülle überwindet. Ist demnach die noch am erzeugenden Rohre festhängende Luftblase spec. schwerer als atmosphärische Luft, und hängt sie also herabwärts, so sammelt sich am unteren Ende der nicht zur Erzeugung der Hülle verwandte und der von dieser herabfliefsende Theil der Flüssigkeit und bewirkt eine Umgestaltung zur Eiform; eben dieses geschieht, wenn umgekehrt die Leichtigkeit der eingeschlossenen Gasart sie in die Höhe treibt, und die unbenutzte Flüssigkeit am erzeugenden Rohre, also gleichfalls am unteren Theile der Blase sich anhäuft. Wenn dagegen die getrennte Blase aufsteigt oder niedersinkt, so mufs in beiden Fällen die unten angesammelte Wassermasse die Form derselben verändern, indem sie durch ihr gröfseres Gewicht im ersten Falle zurückbleibt, im letzteren durch leichtere Ueberwindung des Luftwiderstandes vorauseilt. In beiden Fällen mufs jedoch aufserdem noch der Widerstand der Luft, worin die fallende Bewegung statt findet, berücksichtigt werden, welcher der Blase an der diesen Luftwiderstand überwindenden Seite eine Krümmung nach einem gröfseren Radius giebt, als welcher ihr bei völliger Kugelform zugehörte, mithin die im Zustande ihrer Ruhe statt findende Verlängerung ihrer verticalen Axe vermindert. Wird beim Herabfallen der Blase die Kraft, womit die unten hängende Flüssigkeitsmasse sie herabzieht, durch den Widerstand der Luft genau aufgehoben, so entsteht die Kugelform, jedoch ist je nach den verschiedenen mitwirkenden Bedingungen eine grofse Menge anderweitiger Gestalten möglich, deren nähere Untersuchung und genauere Bestimmung sehr schwierig und von ganz unbedeutendem Nutzen seyn würde.

Die Tragkraft aufzufinden, womit Luftblasen in der Luft aufsteigen, wäre eine leichte Aufgabe, wenn sich das specifische Gewicht der eingeschlossenen Gasart und das absolute der umschliefsenden Hülle auffinden liefse, denn in diesem Falle wä-

ren sie völlig als kleine Aërostaten zu betrachten[1]; allein beide Gröſsen sind fast ganz unbestimmbar. Aus dieser Ursache, und weil zugleich der Widerstand der Luft sowohl an sich, als auch bei der vielfach wechselnden Gestalt kaum mit in Rechnung zu bringen wäre, läſst sich nicht wohl die Geschwindigkeit ihres Fallens und Steigens auffinden. Uebrigens kommen bei dieser Aufgabe diejenigen Gesetze in Anwendung, welche beim Aufsteigen oder Niedersinken einzelner Luftmassen zu berücksichtigen sind[2].

Die Dicke des einschlieſsenden Häutchens zu bestimmen ist kaum irgend ein Mittel vorhanden, selbst wenn man bei genau bekannter Gröſse einer gegebenen Luftblase das Gewicht der zerplatzten Hülle mit gröſster Schärfe auffinden könnte, weil jenes Häutchen an den verschiedenen Stellen sehr ungleich dicht ist. Letzteres geht augenfällig hervor aus dem wechselnden Farbenspiele der Seifenblasen, aus welchem daher Newton[3] die Dicke zu bestimmen gelehrt hat. Andere Untersuchungen von Leibnitz[4] beziehen sich auf die Dicke dieser Häutchen, wenn die eingeschlossene Luft die Luftblasen zum Aufsteigen bringen soll; aber es scheint mir überflüssig, die von ihm aufgestellten Formeln ausführlicher mitzutheilen oder anzuwenden. Uebrigens flieſst die Flüssigkeit so lange auf den Flächen der Hülle herab, bis letztere die nicht wohl bestimmbare, zu ihrem Bestehen erforderliche, geringste Dicke hat, welche genauer zu kennen allerdings von Interesse seyn würde, und die Umgebung zerreiſst, wenn sie unter dieses Minimum ihrer Dicke gekommen ist.

Wenn mehrere Luftblasen, namentlich über einer Flüssigkeit, sich neben einander befinden, so bilden sie den sogenannten *Schaum,* in welchem sie von den vielfachsten Formen und Gröſsen vereinigt sind. Der einfachste Fall seines Entstehens ist, wenn eine einzelne Luftblase in einer etwas klebrigen Flüssigkeit aufsteigt und in Gestalt einer Halbkugel, allgemeiner eines sphärischen oder sphäroidischen Segmentes, auf der Oberfläche festsitzt. Hierdurch erhält dieselbe schon eine ebene Seite,

---

1 Vergl. *Aerostat.* Bd. I. S. 248.
2 Vergl. Art. *Heizung.* Bd. V. S. 208.
3 Optice Lib. I. obs. 17. p. 195. ed. Clarkii.
4 Miscell. Berolin. T. I. p. 123.

und kommt sie mit einer andern in Berührung, worauf dann ihre gemeinschaftlichen Hüllen mit einander vereinigt werden, so erhält sie daselbst eine zweite, und überhaupt so viele ebene Seiten, als die Zahl der sie berührenden beträgt, diejenigen nicht ausgeschlossen, die sich unter oder über ihr befinden, und so werden die Kugeln in Polygone verwandelt. Diese Erscheinung läfst sich auf eine interessante Weise darstellen, wenn man[1] eine Glasröhre AB von 0,3 bis 1 Z. Durchmesser in der Mitte durch einen Kork in zwei gleiche Hälften trennt, durch den Kork die feinen Glasröhrchen α, β so steckt, wie die Zeichnung andeutet, und die Röhre bis zur Mitte mit Wasser oder Weingeist füllt, worin in jenem etwas Gummi, in diesem etwas Schellack oder Harz aufgelöst ist, um der Flüssigkeit einige Zähigkeit zu geben. Kehrt man die Röhre um, so fliefst die Flüssigkeit durch das Röhrchen α herab, gleichzeitig aber steigt die Luft aus der unteren Abtheilung durch das Röhrchen β in die Höhe, trennt sich von letzterem in einzelnen Bläschen, deren Gröfse dem Durchmesser des Röhrchens proportional ist, und diese lagern sich im oberen Ende der Röhre als gleichmäfsig gestaltete Polygone. In den meisten Fällen bilden sie regelmäfsige sechsseitige Säulen, welche mit ihrer gröfseren Basis an den Wandungen der Röhre festsitzen, verjüngt nach der Mitte der letzteren sich erstrecken und mit ihrer oberen ebenen Fläche eine angrenzende Blase berühren. Es lassen sich auf diese Weise nach der verhältnifsmäfsigen Weite der Röhre und des Röhrchens sehr mannigfaltig gestaltete Formen erzeugen.

Einzelne Luftblasen sind durchsichtig, und die zu Schaum vereinten behalten einige Durchsichtigkeit bei, wenn sie aus einer klaren Flüssigkeit gebildet sind und nicht unter eine gewisse Gröfse herabgehen. Werden dagegen gröfsere und kleinere, bis zum Verschwinden kleine, mit einander vereinigt, so dafs die wachsende Dicke der Hüllen hinreicht, die Zwischenräume zwischen ihnen auszufüllen, so wird die ursprüngliche Kugelform wieder hergestellt und es entsteht ein Schaum, dessen Farbe die der bildenden Flüssigkeit ist, jedoch bedeutend heller wegen des vielen von den zahllosen Oberflächen reflectirten weifsen Lichtes, bei ungefärbten oder nur etwas getrübten Flüssigkeiten dagegen aus eben diesem Grunde weifs,

1 Vergl. Bd. I. Fig. 39.

und zwar um so weifser, je mehr die Zahl der reflectirenden Flächen der vielen nahe hinter einander liegenden Blasen mit der Kleinheit der einzelnen Luftbläschen wächst. Dieses zeigt sich am auffallendsten beim Seifenschaume.

Eine zweite Classe von Luftblasen, die sich allerdings von den bisher betrachteten etwas unterscheiden, sind diejenigen, welche in einer gröfseren Masse irgend einer Flüssigkeit erzeugt werden. Wie auch die Form der einzeln gebildeten bei ihrem Entstehen seyn mag, z. B. wenn man Luft aus einer bandförmigen, einer drei- oder vieleckigen Oeffnung in Wasser strömen läfst, so werden sie im Zustande der Ruhe sogleich die Kugelgestalt annehmen, und zwar aus der nämlichen Ursache, welche dieses bei der frei schwebenden bewirkt [1]. Indem aber alle Flüssigkeiten, von den leichtesten bis zum schwersten Quecksilber, zwischen 600 bis 10000 mal schwerer sind, als die Luft, so steigen die Luftblasen im Verhältnisse ihrer gröfseren Leichtigkeit und des ungleichen zu überwindenden Widerstandes mit gröfserer oder geringerer Geschwindigkeit empor und verändern dabei ihre Kugelgestalt um so mehr in eine sphäroidische, je gröfser sie sind, weil die widerstehende Fläche dem Quadrate ihrer Durchmesser proportional wächst. Sie gerathen indefs beim Aufsteigen in Schwankungen, eine natürliche Folge der in Wasser so leicht entstehenden Wellenbewegung, und dadurch wird ihre Gestalt so vielfach abgeändert, dafs jede genauere Bestimmung derselben unmöglich ist. Erreichen sie die Oberfläche, so tritt die Luft aus der Hülle und letztere zerfliefst; ist aber die Flüssigkeit im erforderlichen Grade zähe, so entstehen Halbkugeln, welche entweder einzeln umherschwimmen, oder mit andern sich vereinigen, und die bereits erwähnten Erscheinungen darbieten.

Gemeines Wasser, Mineralwässer, Bier, Weine und viele andere Flüssigkeiten enthalten eine gröfsere oder geringere, meistens eine nicht unbedeutende Menge durch Absorption aufgenom-

---

1 Ein interessanter Versuch läfst sich anstellen, wenn man die beiden Enden der sehr feinen Polardrähte einer schwachen Volta'schen Säule, in einem Tropfen Wasser einander genähert, unter dem Mikroskope betrachtet. Es bilden sich dann kleine, dem unbewaffneten Auge nicht sichtbare, Luftblasen, welche vergröfsert gesehen genau kugelförmig sind und die Drahtenden nicht unmittelbar berühren, dennoch aber von ihnen festgehalten werden.

mene Luft so innig gebunden [1], dafs man ihre Anwesenheit nicht unmittelbar wahrnimmt; sobald aber die Flüssigkeiten erhitzt werden, oder wenn man den Luftdruck auf dieselben vermindert, und selbst durch mechanische Bewegung, wird ein grofser Theil der aufgenommenen Luft oder der Gasarten in kleineren oder gröfseren, häufig mikroskopisch kleinen, Gasbläschen frei. Diese kleinen Luftblasen sind sphärisch, weil die Anziehung der Theile der sie umgebenden Flüssigkeit unter sich gegen die Masse der eingeschlossenen Luft überwiegend grofs ist [2], bis sich mehrere derselben vereinigen und die schon betrachteten Erscheinungen der gröfseren darbieten. Das Aufsteigen dieser kleinen Bläschen geschieht nach hydrostatischen Gesetzen und hat nichts Aufserordentliches, aber merkwürdig ist die sehr gemeine Erscheinung, dafs sie sich sehr häufig an die Wände der Gefäfse oder sonstige in die Flüssigkeit eingesenkte feste Körper ansetzen und der hydrostatischen Einwirkung der Flüssigkeit, selbst des Quecksilbers, ungeachtet daran festhängen. Ohne Widerrede ist dieses eine Folge der Adhäsion, und als solche auch bereits angegeben [3], inzwischen läfst sich dieses Phänomen auf folgende Weise näher bestimmen. Die Kraft, womit ein Luftbläschen in die Höhe gehoben wird, ist dem Unterschiede seines Gewichtes und des der verdrängten Flüssigkeit gleich. Wird demnach die Gröfse eines Luftbläschens zu $\frac{1}{5}$ oder 0,2 Kubiklinien angenommen, deren also nahe genau 14930000 den Inhalt eines Kubikfufses ausmachen; setzt man ferner das Gewicht eines Par. Kubikfufses Wasser auf 70 ℔. oder 34,265 Kilogramme, das ℔ = 0,4895 Kilogramme angenommen, so wiegt ein Luftbläschen von 0,2 Kubiklinien 2,295 Milligramme. Setzt man endlich das spec. Gewicht der Luft gegen Wasser = $\frac{1}{800}$stel, so würde das Uebergewicht des Wassers über das Luftbläschen, und also auch die Kraft, womit dasselbe in die Höhe gehoben wird, = 2,292 oder nahe genau $\frac{9}{4}$ Milligramme erhalten können. Solche Luftbläschen sind jedoch wohl die gröfsten, welche sich an den Wänden der Gefäfse ansetzen, die kleinsten dagegen betragen nicht mehr als etwa den hundertsten Theil

1 Vergl. *Absorption.* Bd. I. S. 41.

2 Bekanntlich steht nämlich die Masse der Kugeln im kubischen, die Oberfläche in quadratischem Verhältnisse der Durchmesser.

3 S. *Adhaesion.* Bd. I. S. 202.

dieser Gröſse, allein die ersteren würden auch mit einem Gewichte von mehr als 30 Milligrammen im Quecksilber gehoben werden.

Die Gröſse der Fläche zu bestimmen, mit welcher die den festen Körpern adhärirenden Luftblasen mit diesen in Berührung sind, ist nicht eben leicht, sie ist aber selbst verhältniſsmäſsig gröſser bei den gröſseren, als bei den kleineren, und beträgt bei jenen zuweilen mehr als die Grundfläche der Halbkugeln, wozu sich die Luftblasen gestalten, bei diesen oft ein unmeſsbares Pünctchen. Der Halbmesser einer Kugel, deren Inhalt einer Kubiklinie gleich ist, beträgt 0,62.... Linien, mithin der einer solchen, die nur 0,2 hiervon beträgt [1], 0,3628 Linien. Nimmt man statt derselben Halbkugeln, so beträgt die Grundfläche einer solchen, deren Inhalt 0,5 Kubiklinien ausmacht, 1,209, und einer, die nur den fünften Theil hiervon beträgt, 0,4134 Quadratlinien. Von der Gröſse der ersteren findet man sie häufig an den Wänden der Glasröhren im Quecksilber, dagegen erreichen die letzteren sicher das Maximum derer, die man unter dem Wasser antrifft, und dennoch würden jene im Quecksilber mit einem Gewichte von 75, diese von 15 Milligrammen, im Wasser aber die letzteren mit einem Gewichte von 1,146 Milligrammen gehoben werden. Diese groſse Kraft, welche allerdings eine Folge der Adhäsion ist, läſst sich jedoch nicht unmittelbar den Flächen beilegen, in denen die Luftblase mit dem festen Körper in Berührung steht, wogegen schon die groſse Fluidität der Luft streitet, vermöge deren zwar eine verschwindend dünne Luftschicht mit dem festen Körper in Berührung bleiben, die übrige Luftmasse aber aufsteigen müſste. Die Ursache liegt vielmehr darin, daſs die Flüssigkeiten an derjenigen Stelle, wo die Luftblasen festsitzen, die festen Körper nicht berühren. Soll diese Berührung aber eintreten, so muſs die Adhäsion der einzelnen Theilchen der Flüssigkeiten unter sich überwunden werden, damit sie mit den Körperflächen da, wo die Luftbläschen an ihnen anliegen, in Berührung kommen [2], und auſserdem muſs der Zusammenhang auch derjenigen jener Theilchen überwunden werden, welche die Luftmassen einschlieſsen. Beide

---

1 Da sich der Inhalt der Kugeln wie der Kubus der Halbmesser verhält.

2 Vergl. *Adhäsion.* Bd. I. S. 176.

Bedingungen sind nothwendig, wenn das Luftbläschen sich von dem festen Körper trennen und aufsteigen soll, und hiernach ist es erklärlich, warum der gröfseren Kraft des Aufsteigens ungeachtet gröfsere Luftblasen unter Quecksilber an den Glaswänden festhängen, als unter Wasser, weil bei jenem die Adhäsion der Theilchen unter einander gröfser und zum Glase geringer ist, als bei diesem. *M.*

Luftelektricität.

Atmosphärische Elektricität; *Electricitas aërea seu atmosphaerica;* Électricité atmosphérique; *Atmospheric Electricity.*

Hierunter versteht man die von Gewittern unabhängige und aufser der Zeit derselben auch beim heitersten Wetter sich offenbarende Elektricität der Atmosphäre selbst, der Dünste in derselben, des Nebels, der Wolken und der wässerigen Niederschläge aus denselben, des Regens, Hagels, Schnees.

I. Das Geschichtliche.

Unter den Artikeln *Blitz, Blitzableiter, Drache, elektrischer,* ist bereits von den ersten wichtigen Erfahrungen über die Elektricität der Gewitter und bei dieser Gelegenheit auch von den in jener ersten Zeit, als Franklin's schöne Entdeckung die Aufmerksamkeit der Physiker auf diesen neuen Gegenstand der Forschung hinlenkte, gemachten Beobachtungen über die Luftelektricität im engern Sinne geredet worden.

Zu den frühesten Erfahrungen über die eigentliche Luftelektricität gehören die schon im Jahre 1750 von de Romas mit dem Drachen gemachten Beobachtungen [1]. Sie wurden durch ähnliche Beobachtungen des Le Monnier [2] bestätigt, der zugleich dabei Spuren eines täglichen periodischen Ganges wahrnahm. Auf diese folgten die Beobachtungen des Abbé Mazeas [3], welcher auf dem Schlosse Maintenon einen 370 Fufs langen eisernen Draht ausspannte, dessen Enden 90 Fufs hoch über der

1 Vergl. *Drache, elektrischer.* Dieses Wörterb. Bd. II. S. 586.
2 Mém. de Paris. 1752.
3 Philos. Trans. Vol. XLVIII. No. 57.

rische Elektricität auszumitteln, darauf, mehr oder weniger empfindlichen Elektrometern durch angemessene leitende Vorrichtungen die Elektricität der Luft, der Wolken, des Nebels, des Regens u. s. w. zuzuführen. In den ersten Zeiten bediente man sich hiezu vorzugsweise isolirter, mit einer Spitze versehener eiserner Stangen, der sogenannten *Wetterstangen* oder Franklin'schen Stangen, die man an den höchsten Stellen der Häuser aufrichtete und von denen aus man eine isolirte Zuleitung in das Beobachtungszimmer zum Elektrometer anbrachte. Einer solchen Vorrichtung bedienten sich auch noch Read und Heller bei der Anstellung ihrer Beobachtungen. Allein so stark auch die Anzeigen von Elektricität sind, welche man durch diese Vorrichtung bei herannahenden Gewittern oder auch bei manchen meteorischen Niederschlägen erhält, so schwach und verschwindend sind dieselben bei heiterem oder bloſs umwölktem Himmel, wie vorzüglich Volta [1] durch seine fortgesetzten Beobachtungen sich davon überzeugte, und sie können dann nur durch Hülfe des Condensators etwas merkbar gemacht werden. Es hält sehr schwer, solche Stangen gehörig zu isoliren, und sie geben auch sehr oft zu täuschenden Resultaten durch die Wirkung der Vertheilung Veranlassung, wie Volta sehr gut gezeigt hat [2]. Auch lassen sich eine Menge von Beobachtungen wegen ihres festen Standortes gar nicht damit anstellen. Ein anderes Verfahren, die Luftelektricität zu prüfen, ist die Anwendung von Drachen, die man in die Luft aufsteigen läſst, von welchem schon an seinem Orte gehandelt worden ist, ein Verfahren, das aber seine groſsen Unbequemlichkeiten hat und mehr nur dazu dienen kann, bei günstigen Umständen die Elektricität der höheren Luftschichten auszumitteln. Der Apparat des Abbé Mazeas ist schon oben erwähnt worden. Beccaria's Apparat befand sich auf dem anmuthigen Hügel von Garzegna, von welchem man den ganzen Zug der Alpen und fast die ganze Ebene von Piemont übersieht. Er bestand aus einem 130 pariser Fuſs langen eisernen Drahte, der von einer Reihe Schornsteine, über welche eine lange Stange ihn erhob, bis zur Spitze eines Kirschbaumes gezogen, an jedem seiner beiden Enden isolirt und mit einem kleinen, unten mit Siegellack überzogenen, Schirme aus

---

1 Briefe S. 109 und 110.

2 A. a. O. S. 112 bis 114.

Zinn versehen war. Von diesem Drahte ab ging ein anderer durch eine Glasscheibe in das Beobachtungszimmer herab. Diesem ähnlich, aber von einer mehr riesenhaften Gröfse, war der von Crosse gebrauchte. Er bestand aus zwei aufgerichteten Mastbäumen, die in dieser Stellung stark befestigt waren und zwischen denen in einer Höhe von 100 bis 110 Fufs über der Erde ein isolirter Kupferdraht von 0,1 Zoll Dicke straff gespannt war. Diesem Drahte hatte Crosse anfangs die aufserordentliche Länge von $\frac{1}{4}$ englischen Meilen (etwa 6000 englische Fufs) gegeben und ihn dieser Länge ungeachtet durch sinnreiche Kunstmittel zu isoliren gewufst; sie setzte ihn jedoch so vielen Zufällen aus, dafs er sich gezwungen sah, ihn bis auf 1800 Fufs zu verkürzen.

Alle diese Apparate gewähren indefs nicht die grofsen Vortheile, welche die tragbaren haben, die man in der Tasche mit sich führen kann, um mit ihnen zu allen Zeiten und an jedem Orte die Luftelektricität zu untersuchen, mit denen de Saussüre, Volta, Cavallo u. a. ihre Beobachtungen anstellten, und von welchen ich unter dem Artikel *Luftelektrometer* eine Beschreibung geben werde. Schübler, dessen Beobachtungen uns in diesem Artikel vorzüglich mit leiten werden, bediente sich eines Volta'schen Apparats, v. Gersdorf des Bennet'schen Goldblattelektrometers, mit einem zugespitzten Metalldrahte versehen, der nach Belieben bis zu einigen Schuhen durch auf einander geschraubte Stücke verlängert werden konnte, das jedoch zu vergleichenden Versuchen in manchen Fällen zu empfindlich seyn dürfte.

Im Allgemeinen möchte sich das Volta'sche Strohhalmelektrometer zur Prüfung der eigentlichen Luftelektricität vor allen andern empfehlen, da es durch Verbindung mit dem Condensator auch bei sehr schwachen Graden derselben noch Anzeigen davon geben wird. Als allgemeine Regel gilt, dafs, wenn die atmosphärische Elektricität in ihrer ganzen Stärke erkannt werden soll, diese Beobachtungen an so viel als möglich freien, nicht zwischen Häusern oder Bäumen nahe eingeschlossenen Orten, also auf freiem Felde, auf frei liegenden Terrassen in Gärten angestellt werden müssen, oder dafs wenigstens die die Elektricität dem Elektrometer zuführenden Leiter in hinlänglichem Abstande von den Mauern der Häuser zu dem Fenster des Beob-

achtungszimmers hinaus in die Luft emporragen[1]. Die Beschaffenheit der am Elektrometer sich offenbarenden Elektricität wird auf die unter dem Artikel *Elektrometer* angeführte Weise ausgemittelt. Die relative Stärke der Elektricität läſst sich nur annäherungsweise angeben, am besten durch Anwendung einer Reihe von Elektrometern, die an Empfindlichkeit abnehmen und bei welchen das Verhältniſs ihrer Grade gegen einander durch vorläufige Versuche festgesetzt worden ist.

III. Die Erscheinungen selbst und ihre allgemeinsten Gesetze.

Die groſse Masse von hierher gehörigen Beobachtungen wird sich leichter übersehen lassen, wenn wir sie unter gewisse Hauptabtheilungen ordnen und diesen gemäſs nach der Reihe

A) Von der Elektricität der Luft im engern Sinne
- a) zu verschiedenen Tageszeiten,
- b) in verschiedenen Jahreszeiten,
- c) bei verschiedenem Zustande des Himmels,
- d) in verschiedenen Höhen der Atmosphäre,
- e) bei verschiedenen Winden;

B) Von der Elektricität des Nebels;

C) Von der Elektricität der Wolken;

D) Von der Elektricität der Niederschläge aus der Atmosphäre, des Regens, Schnees, Hagels;

E) Von dem Einflusse der Gewitter auf die Luftelektricität

handeln.

A) Von der Elektricität der Luft im engern Sinne.

a) Zu verschiedenen Tageszeiten.

Die genauern Bestimmungen hierüber verdanken wir vorzüglich zuerst de Saussüre, und neuerlich Schübler und Crosse. Zuerst können alle Beobachtungen, sowohl die der drei genannten Naturforscher, als auch die von Beccaria, Volta, Read, Gersdorf u. s. w. (mit Ausnahme einer einzigen von Biot und Gay-Lüssac, auf welche ich bei der Betrachtung des

---

1 Vergl. *Luftelektrometer*.

Einflusses der Höhe auf die Luftelektricität zurückkommen werde) darin mit einander überein, dafs bei heiterer Witterung die Elektricität der Atmosphäre unwandelbar die positive ist. Jene drei Beobachter stimmen auch in dem Umstande überein, dafs bei normalem heiterem Zustande der Atmosphäre diese positive Elektricität innerhalb 24 Stunden *zwei Maxima* und *zwei Minima* habe, über welche wir hier de Saussüre's Angabe zuerst mittheilen wollen, da wir diesem genaueren Beobachter die bestimmtere Kenntnifs dieses Gesetzes zuerst verdanken. Es schien mir, sagt de Saussüre [1], dafs im Winter, in welcher Jahreszeit ich diese Elektricität der hellen Luft am besten beobachtet habe, dieselbe von der Stunde an, da der (Abend-) Thau sein Fallen ganz geendigt hat, bis zum Aufgange der Sonne am schwächsten sey, woranf dann ihre Stärke stufenweise wieder zunimmt und früher oder später, fast immer aber vor Mittag bis zu einem gewissen höchsten Puncte gelangt, welcher aber wieder schwächer zu werden scheint, bis sie sich bei dem Fallen des Thaues gleichsam erholt, wo sie zuweilen noch stärker wird, als sie den ganzen Tag hindurch gewesen war, nachher aber wieder stufenweise ihre Kraft bis tief in die Nacht hinein verliert, doch bei hellem Wetter niemals ganz unmerklich wird. Die atmosphärische Elektricität ist also, gleich dem Meere, einer Art von Ebbe und Fluth unterworfen, welche dieselbe zweimal in 24 Stunden wachsen und abnehmen macht. Die Zeit ihrer gröfsten Stärke findet einige Stunden nach Aufgang und nach Niedergang der Sonne statt und ihre gröfste Schwäche zeigt sich vor dem Aufgange und Niedergange derselben.

Schübler [2] bestimmt diese Periode im Wesentlichen eben so, nur bemerkt er, dafs, wenn die Elektricität einige Stunden nach Aufgang der Sonne ihr erstes Maximum erreicht, die *wahre Feuchtigkeit* der Luft zunehme (nach dem Saussüre'schen Haarhygrometer beobachtet und auf gleiche Temperatur zurückgeführt), die Luft an ihrer Durchsichtigkeit verliere, der Morgenthau falle (?) und im Herbste und Winter unter diesen Umständen oft eigentlicher Nebel mit starken Zeichen von Elektricität entstehe. Sobald dieses Maximum eingetreten ist, verliere sich nach und nach das Dunstige der Luftschichten, die Atmosphäre

1 Reise in die Alpen. III. 255.
2 Schweigg. Journ. III. 123. VIII. 21.

werde ganz heiter, die Trockenheit der Luft nehme von diesem Zeitpuncte an wieder zu, die Luftelektricität nehme nun immer mehr ab, anfangs am schnellsten, dann immer langsamer, Nachmittags zwischen 2 und 3 Uhr sey sie schon ziemlich schwach, gewöhnlich 1—2 Stunden vor Sonnenuntergang am schwächsten, während die Luft um diese Zeit ebenfalls am trockensten ist. Schübler findet einige Stunden nach Sonnenuntergang gleichfalls das zweite Maximum, während dessen sich aufs Neue überall Dünste bilden, die Feuchtigkeit der Luft schnell zunimmt, die Kälte des Abends eintritt und der Abendthau fällt, von welchem zweiten Maximum an die Luftelektricität aufs Neue wieder abnimmt und die ganze Nacht hindurch fortfährt zu fallen, um mit der aufsteigenden Sonne des folgenden Tages wieder dieselbe Ordnung zu durchlaufen.

Diese Periodicität der positiven Elektricität wird jedoch nur an heitern Tagen so regelmäſsig beobachtet; bilden sich Wolken oder fällt gar Regen, so zeigen sich viele Abweichungen und die Elektricität geht dann selbst in das Negative über, doch zeigt sich selbst bei bewölktem Himmel noch etwas von dieser Periode.

Nach Crosse ist die gewöhnliche Luftelektricität Nachts am schwächsten, bei Sonnenaufgang wächst sie, nimmt gegen Mittag ab, wächst dann wieder, so wie die Sonne tiefer sinkt, nimmt dann wieder ab und bleibt die Nacht hindurch schwach. Nach Volta steigt die Luftelektricität, die bald nach Mittag nach seinem Strohhalmelektrometer 5 bis 6° beträgt, mit Anfang der Nacht nach Verhältniſs des Thaues auf 8° und wohl noch höher und ist in der Nacht und gegen Anbruch des Tages am schwächsten.

Es ist eine gänzliche Entstellung dieser Beobachtungen, wenn De Lüc[1], der sich dabei auf de Saussüre beruft, folgende Darstellung darauf gründet und mit dem Gange des Hygrometers in Parallele bringt, daſs die Menge der Elektricität in der Luft von der Zeit an, wenn die Sonne aufgeht, bis *nach Mittag* sich vermehre, *späterhin*, wenn das Hygrometer ein wirkliches Zunehmen von Feuchtigkeit in der Luft anzuzeigen anfängt, die Kügelchen des Elektrometers allmälig wieder zusammensinken, und wenn der *Thau sich zeigt*, das natürliche

1 G. XLI. 172.

Gleichgewicht der Elektricität wieder hergestellt sey, folglich alle elektrische Flüssigkeit, welche den Tag hindurch aufgestiegen war, zum Erdboden zurückkomme, so dafs dieser Gang des Elektrometers und Hygrometers irgend eine Abhängigkeit anzudeuten scheine, in welcher die Menge elektrischer Flüssigkeit in der Atmosphäre in ihrem Zunehmen und Abnehmen von dem Abnehmen und Zunehmen der Menge des Wasserdampfes während des Zeitraumes eines Tages stehe. Es ist dieses abermals ein belehrendes Beispiel, wie selbst ein heller Geist, durch Lieblingsideen eingenommen, für die reinen Thatsachen unempfänglich wird und ihnen unbewufst Gewalt anthut, um seine Hypothese aufrecht zu erhalten.

b) Einflufs der Jahreszeiten auf die Luftelektricität.

Die verschiedenen Jahreszeiten äufsern zunächst ihren Einflufs auf die Zeit des Eintritts der täglichen Maxima und Minima, indem diese sich vorzüglich nach dem verschiedenen Aufgange und Untergange der Sonne richtet, wobei wir zunächst Schübler's genauere Beobachtungen zum Grunde legen. Der Eintritt des ersten Maximums ist am frühesten in den längsten Sommertagen, am spätesten in den kürzesten Wintertagen, wo es sich mehr der Mittagsstunde nähert; dahingegen ist der Eintritt des zweiten Maximums am spätesten in den längsten Sommertagen, am frühesten aber in den kurzen Wintertagen, wovon die nothwendige Folge ist, dafs die Entfernung des ersten elektrischen Maximums vom zweiten am gröfsten ist in den Sommertagen, hingegen am kleinsten in den kurzen Wintertagen, wo beide Maxima, vorzüglich bei kalter nebliger Witterung im Winter, gleichsam in ein Maximum zusammenzufallen scheinen, wenigstens sich einander sehr nähern.

Die Zeiten der Maxima sind übrigens auch zu derselben Jahreszeit nicht immer einander gleich. Schübler bemerkte es zuweilen des Morgens später und des Abends früher eintreten, als gewöhnlich, wenn die Temperatur der Atmosphäre für diese Jahreszeit geringer als gewöhnlich war, was sich sowohl bei strenger Winterkälte, als auch an einzelnen rauhen Sommertagen bestätigte.

Nach Saussüre[1] ist es der viel geringeren Intensität der

1 A. a. O. 261.

Luftelektricität *im Sommer* zuzuschreiben, dafs ihre tägliche Periode weniger regelmäfsig und ausgezeichnet als im *Winter* ist, denn da ihre eigentliche Quantität nur sehr klein ist, so verursachen Nebenumstände Verschiedenheiten, welche sogar Schuld seyn können, dafs die Maxima und Minima auf Zeitpunkte fallen, die ihren natürlichen sogar entgegengesetzt sind. An trockenen und *heifsen* Tagen, und wenn die Erde auch schon in Folge der vorausgegangenen Witterung ausgetrocknet ist, fand Saussüre die Elektricität vom Aufgange der Sonne an, da sie fast unmerklich ist, nach und nach zunehmen, bis um 3 oder 4 Uhr Nachmittags, wo sie ihre gröfste Stärke erreicht, hierauf allmälig abnehmen, bis zu der Zeit, da der Thau fällt, wo sie etwas wächst, um nachher wieder abzunehmen und endlich in der Nacht ganz zu verschwinden. Doch bemerkt er, dafs die tägliche Periode selbst auch im Sommer an *schönen*, auf *regnichte* folgenden Tagen, wenn die Erde mit Feuchtigkeit angefüllt ist, der *Periode im Winter* gleiche, indem alsdann die Kraft der Elektricität *mitten im Tage* abnehme.

In folgender Tabelle sind die mittleren Zeiten der Maxima und Minima der atmosphärischen Elektricität für die verschiedenen Monate von Schübler angegeben, die freilich zunächst nur für den Beobachtungsort Stuttgart gelten. Die Zahlen darin bedeuten die Stunden des Tages Vor- oder Nachmittags. Die Zeit des zweiten Minimums Nachmittags von 2 bis 4 und 5 Uhr ist jedoch nicht angegeben.

Monate	Erstes Minimum Morgens	Erstes Maximum Morgens	Zweites Maximum Abends
Januar	7	10	6
Februar	7	9	7
März	6½	8½	7½
April	6	8	8½
Mai	5	7	9
Juni	4 bis 5	7½ bis 6	10
Juli	5	6½	9½
August	5	7½	8½
September	7	8	8
October	7	8½	7½
November	7	9	7
December	8	10	6

Das Verhältnifs der Stärke der atmosphärischen Elektricität während des mittlern Minimums zu derjenigen des mittlern Maximums und damit die eigentliche Gröfse der Veränderung (nach Graden des Elektrometers geschätzt) ist in den Sommermonaten beinahe doppelt so grofs, als in den Wintermonaten, wie aus der folgenden Tabelle, in welcher das tägliche mittlere Minimum = 1 gesetzt ist, erhellet, indem darin dieses Verhältnifs für die verschiedenen Monate nach SCHÜBLER's einjährigen Beobachtungen angegeben ist.

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
1:1,58	1:2,03	1:2,02	1:2,25	1:2,53	1:2,31
Juli	**August**	**September**	**October**	**November**	**December**
1:2,49	1:2,70	1:2,79	1:2,47	1:1,64	1:1,37

Der Einflufs der Jahreszeiten äufsert sich noch besonders in einer regelmäfsigen jährlichen Periode, und zwar stimmen CROSSE's und SCHÜBLER's Beobachtungen darüber überein, dafs die Luftelektricität stärker im Winter als im Sommer sey. Geringer erscheint nach SCHÜBLER diese jährliche Periode, wenn die Minima mit einander verglichen werden, desto deutlicher ist sie aber, wenn diese Vergleichung mit den Maximis und der mittleren Stärke der Elektricität überhaupt angestellt wird. Aus nachstehender Tabelle, in welcher die mittlere Stärke der Elektricität überhaupt aus den vier täglichen Beobachtungen während des zweimaligen Maximums und Minimums für die verschiedenen Monate nach SCHÜBLER's einjährigen Beobachtungen für Stuttgart in Graden des Elektrometers bestimmt ist, ergiebt sich diese jährliche Periode am deutlichsten:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
18,13	14,10	6,93	7,31	7,41	7,62
Juli	**August**	**September**	**October**	**November**	**December**
8,35	10,25	10,25	10,13	10,73	14,72

Es bedarf wohl kaum erinnert zu werden, dafs diese Beobachtungen noch auf eine zu kurze Zeit eingeschränkt sind, um ein allgemeines Gesetz in Beziehung auf den jährlichen periodischen Gang der Luftelektricität danach aufstellen zu können. Indefs stimmen in dem Hauptresultate, dafs die Luftelektricität im Winter bedeutend stärker ist als im Sommer, auch alle übrigen Beobachter mit CROSSE und SCHÜBLER überein. VOLTA fand die Luftelektricität im Sommer in ihrem Maximum des Vormit-

tags im Durchschnitte von 5 bis 6° seines Strohhalmelektrometers und im Anfange der Nacht nach Verhältnifs des Abendthaues auf 8° und wohl noch höher steigen, im Winter dagegen von 10 bis 20°, und selbst in den der Luftelektricität nicht sehr günstigen Stunden der spätern Nacht und gegen Anbruch des Tages 8°. Auch SAUSSÜRE fand bei ganz heiterem Wetter im Sommer die Luftelektricität kaum halb so stark, als im Winter; dasselbe fanden schon früher BECCARIA, HENLEY, CAVALLO.

Damit stimmen jedoch dem ersten Anscheine nach HELLER's Resultate aus fünfjährigen Beobachtungen nicht überein. Ihm zu Folge[1] sind die Anzeigen der Luftelektricität im *Winter schwach*, wenn es hoch kommt, so fahren an der Maschine (einer Wetterstange, die nach Innen geleitet wurde und mit einem Fadenelektroskope, nach Umständen auch mit einem Glockenspiele verbunden wurde, aber auch bei stärkerer Elektricität auf eine Auffangekugel ihre Funken überschlug) kleine Funken über. Gegen das Frühjahr hin wächst sie allmälig, so dafs sie gegen die Mitte des Monats März das Fadenelektrometer kräftig afficirt. Im April zeigt sie sich manchmal des Tages sehr oft in den sogenannten Aprilstürmen häufig durch Glockenspiel und Funken. Gegen das Ende des Aprils und im Mai endlich beweist sie ihre Stärke durch reifsende Ströme an der Maschine. In den Sommermonaten Junius und Julius sprüht die Maschine Funken, so oft es blitzt, dann ist Stillstand bis zu einem neuen Blitze; hagelt es, dann ist rascher Feuerstrom, der durch einen einfallenden Blitzstrahl augenblicklich gestillt wird, um wieder lebhafter anzufangen. Fallen im Herbste Stürme und Strichregen ein, so kehrt das Verhalten des März zurück, bedecken endlich die Herbstregen den ganzen Horizont, dann beobachtet man die Maschine ganz umsonst, alle Spuren der Elektricität sind verschwunden. — Indessen beziehen sich HELLER's Beobachtungen mehr auf die Elektricität der Niederschläge aus der Atmosphäre, als auf diejenige der eigentlichen Luft an heitern Tagen, die, wie schon oben bemerkt wurde, durch eine solche Vorrichtung, wie HELLER sie angiebt, nicht wohl ausgemittelt werden kann.

---

1 GREN's N. Journ. IV. S. 73.

c) Einfluſs der verschiedenen Beschaffenheit der Atmosphäre auf die elektrische Spannung derselben.

Im Allgemeinen ist die Luftelektricität an heitern Tagen am stärksten, und schwach bei bewölktem Himmel, weniger stark an warmen, als an kalten Tagen bei gleicher Heiterkeit der Luft. Besonders richtet sich nach Schübler's Beobachtungen die Stärke und Bestimmtheit der Ebbe und Fluth der Luftelektricität nach der Beschaffenheit des Himmels. Die Perioden sind am auffallendsten bei ruhiger, heiterer Luft, geringe bei zum Theil bedecktem Himmel, am schwächsten und oft kaum bemerklich bei ganz bedecktem Himmel, und endlich ganz regellos, wenn dichte Wolken und Nebel die Atmosphäre erfüllen und ihre oft sehr starke Elektricität den untern Luftschichten mittheilen. Oft bemerkte Schübler, daſs die elektrischen Perioden stärker eintraten, wenn nach trüber, feuchter Witterung mit Regen sich der Himmel auf einmal aufheiterte (bei gewöhnlich steigendem Barometer), wobei stets das Hygrometer vorzüglich Morgens und Abends einen bedeutenden Grad von Feuchtigkeit anzeigte, daſs hingegen die elektrischen Perioden nach und nach geringer wurden, wenn anhaltende Trockenheit eintrat, womit auch Saussüre's schon oben angeführte Beobachtungen übereinstimmen.

Folgende Uebersicht zeigt nach Crosse die Folge der *Intensität* der elektrischen Zeichen in den verschiedenen Jahreszeiten, wie sie den Erscheinungen in der Atmosphäre entspricht, wobei die intensivern vorangehen und die schwächern folgen:

1) Während des Erscheinens von Wolken, in welchen man eine regelmäſsige Folge von Donnern hört;

2) bei einem Nebel, den der Wind vor sich her treibt und den ein kleiner Regen begleitet;

3) wenn Schnee oder Hagel in Menge herabfallen;

4) während eines Platzregens, besonders an einem heitern Tage;

5) bei warmer Witterung, die auf nasse Tage folgt;

6) bei nasser Witterung, die auf lange Trockenheit folgt;

7) bei hellem Wetter und Frost, bei Nacht und am Tage;

8) bei hellem und heiſsem Wetter im Sommer;

9) bei bedecktem Himmel;

sphäre befand, zerstreuten sich nach und nach gänzlich, ohne jedoch auf die Anzeigen des Elektrometers Einfluſs zu äuſsern. Bei seiner Reise auf den Montblanc[1] fand Saussüre die Luftelektricität auf dem höchsten Gipfel bei vollkommen heiterem Himmel nur 3 Linien, und war erstaunt, sie nicht stärker zu finden, was er der groſsen Trockenheit der Luft zuschreibt. Saussüre gab auch ein sinnreiches Verfahren an[2], um auf Luftreisen die Beschaffenheit und Intensität der Elektricität der Luftschichten in verschiedenen Höhen zu bestimmen.

Bei ihrer Luftreise wendeten Biot und Gay-Lüssac auch auf diesen Gegenstand ihre Aufmerksamkeit[3]. Ein Metalldraht von 50 Metern Länge war an einem Ende ihrer Gondel aufgehängt und hing frei herab, durch das Gewicht einer Metallkugel gespannt. Die dadurch aus der 50 Meter tieferen Luftschicht am oberen Ende des Drahtes angesammelte Elektricität war am Elektrometer sehr bemerklich, *aber ungeachtet des vollkommen heiteren Wetters negativ*. Der Widerspruch, in welchem dieses Resultat mit allen andern Erfahrungen steht, ist nach Biot[4] nur scheinbar, und zwar sucht dieser Physiker durch folgende Erörterung, wobei die Zunahme der Intensität der Elektricität mit der Höhe als Voraussetzung zum Grunde gelegt wird, dasselbe mit allen übrigen Erfahrungen in Einklang zu bringen. AB stelle jenen Draht vor; man lege durch seine beiden Enden in Gedanken zwei horizontale Ebenen, welche die Atmosphäre in drei Abtheilungen zerlegen, deren eine zwischen den Enden des Drahtes, die andern nach oben und nach unten darüber hinaus liegen. Gesetzt, die Atmosphäre befinde sich in einem positivelektrischen Zustande, der mit der Höhe zunimmt. Man wird diese Elektricität nur für schwach und ihre Zunahme für nicht sehr beträchtlich halten können, zumal in einer Dicke von 50 Metern. Die beiden äuſsersten Schichten können ihre Wirkung nicht durch Berührung ausüben, denn diese muſs eine gewisse Zeit dauern, damit sich die Elektricität fortpflanze, sondern es kann hier nur die vertheilende Wirkung ihrer freien Elektricitäten auf die natürliche Elektricität des Drahtes aus der Ferne in

Fig. 50.

1 Kurzer Bericht von einer Reise auf den Gipfel des Montblanc im August 1787. Von H. Ben. v. Saussüre. Strasburg 1788. S. 25.

2 Reise in die Alpen. Th. III. S. 304.

3 G. XX. 15.

4 Lehrb. der Experimentalphysik, übers. von Fechner. Th. II. S. 291.

Betracht kommen. Der obere Theil A, der sich im positiven Zustande befindet, zieht die negative Elektricität des Drahtes mit einer Kraft an, die sich durch + N vorstellen läfst, und stöfst die positive zurück, die mit + P bezeichnet werden kann. Die untere Schicht B wird die nämliche Wirkung nach umgekehrter Richtung ausüben, aber mit minderer Kraft, der Annahme zufolge, dafs die Intensität des + E mit der Höhe zunimmt. Es mögen p und n die beiden Kräfte seyn, die sie ausübt. Hiernach ist klar, dafs die negative Elektricität des Drahtes an seinem obern Theile mit einem Uebergewichte von Kraft = N — n angezogen und die positive an seinem unteren Theile mit einem Kraftüberschusse = P — p abgestofsen werden wird. Den Luftschiffern also, welche die negative Elektricität am oberen Theile des Drahtes beobachteten, mufste die Elektricität negativ erscheinen. Die Wirkung der Zwischenschicht geht nur dahin, dieses Resultat noch zu verstärken. Wäre diese Schicht in ihrer ganzen Höhe gleichförmig elektrisch, so würden ihre Wirkungen oberhalb und unterhalb der Mitte des Drahtes sich von selbst ausgleichen und keine Zersetzung der natürlichen Elektricität des Drahtes zur Folge haben. Bei einer Zunahme der positiven Elektricität mit der Höhe müssen jedoch offenbar die Wirkungen aller einzelnen Theilchen der Schicht sich zu einer Gesammtwirkung der nämlichen Art, als von der oberen Schicht ausgeübt wird, vereinigen, so dafs sich die Wirkung letzterer um diese Gesammtwirkung vermehrt findet, und eben so wird der endliche Erfolg dadurch verstärkt werden, wofern nur die Dicke dieser Mittelschicht bedeutend genug ist, dafs ihre Wirkung gegen die der oberen und unteren Abtheilung der Atmosphäre in Betrachtung kommt. Bei der Mittheilung dieser Beobachtung in seinem Berichte fügt Biot noch ausdrücklich hinzu, dafs dieser Versuch zugleich bewiesen habe, dafs die Elektricität der Atmosphäre mit der Höhe zunehme, wie dieses auch nach Volta's und Saussüre's Versuchen zu erwarten gewesen sey.

Schübler[1] benutzte eine Reise durch die schweizerischen Alpen, um den Einflufs der Höhe auf die Stärke der atmosphärischen Elektricität auszumitteln. Die Zunahme derselben war stets um so bedeutender, je freier er sich von ableitenden Um-

1 Schweigg. Journ. IX. 348.

gebungen, Waldungen, benachbarten Abhängen u. s. w. befand, am stärksten fand er sie auf einzelnen isolirten schroffen Felsenspitzen. Diese Zunahme schien jedoch in keinem genauen Verhältnisse mit der Erhöhung über der Meeresfläche selbst zu stehen, was wahrscheinlich in den verschiedenen ableitenden Umgebungen gegründet ist. So konnte Schübler in vielen Gegenden der Alpen, vorzüglich in engen Thälern derselben, wenn sie gleich 3000 bis 6000 Fufs über der Meeresfläche lagen, noch keine bedeutende Zunahme der atmosphärischen Elektricität bemerken, welche jedoch stets statt fand, wenn er sich von der Oberfläche der Erde mehr entfernte.

Um von den störenden Einflüssen der Umgebung mehr unabhängig und regulär diese Zunahme der atmosphärischen Elektricität verfolgen zu können, stellte er Beobachtungen an der Seite eines frei stehenden Thurmes an. Die Spitze des Zuleitungsdrahtes wurde möglichst in einer Entfernung von 5 Schuhen von der Mauer des Thurmes erhalten. Der Himmel war vollkommen hell und die mittlere Temperatur im Schatten + 16° R. Folgende Tabelle giebt das Resultat dieser Beobachtungen.

Senkrechte Erhöhung über der Oberfläche der Erde.	Stärke der Elektricität.	
30 Fufs	+ 15	
50 —	+ 20	
75 —	+ 26	
86 —	+ 18	Diese Beobachtungen konnten wegen zu enger Oeffnung nicht in hinlänglicher Entfernung vom Thurme angestellt werden.
115 —	+ 22	
145 —	+ 50	Auf einer freien Gallerie des Thurmes in der Höhe des Fufsbodens.
152 —	+ 53	Auf derselben Gallerie 7 Fufs höher und frei.
171 —	+ 58	Auf der obern Gallerie.
180 —	+ 64	Auf dem höchsten freien Puncte des Thurmes.

Dafs Schübler auf den Gletschern die atmosphärische Elektricität nicht stärker fand, als auch im Winter bei heiterem Wetter in tiefen Gegenden, erklärt er daraus, dafs dieselben

stets zwischen hohen Felswänden, die sich an den Seiten über sie erheben, eingeschlossen sind, die daher ableitend für die atmosphärische Elektricität wirken. Was v. Hohenwart über die grofse Stärke der Elektricität auf dem Glockner[1] anführt, bezieht sich nicht auf die Elektricität der Luft selbst, sondern auf die durch Reibung im Glase, Siegellack u. s. w. erregte Elektricität wegen der grofsen Trockenheit der Luft in dieser Höhe, dagegen zeigen die Beobachtungen von Lamanon und Manges, dafs auch auf der Höhe des Pics von Teneriffa die Luftelektricität beträchtlich, und zwar positiv, war[2]. Durch Hülfe meiner, der Volta'schen ähnlichen, Vorrichtung zur Prüfung der atmosphärischen Elektricität[3] kann ich nach Belieben in der kürzesten Zeit eine Schicht von 14 Schuhen durch ihre ganze Höhe hindurch untersuchen, und stets habe ich eine regelmäfsige Zunahme der Elektricität von unten nach oben, wenn dieselbe positiv war, beobachtet.

e) Einflufs der Winde auf die Luftelektricität.

Nach Saussüre's Beobachtungen schwächen sehr starke Winde die Luftelektricität, und zwar, wie er meint, darum, weil sie alle Schichten der Atmosphäre unter einander mischen, dieselben nach einander gegen die Erde hintreiben und also die elektrische Flüssigkeit ziemlich gleichförmig durch die Erde und die Luft zerstreuen, doch beobachtete er bei einem starken Nordostwinde eine starke Luftelektricität. Von Gersdorf fand die Elektricität bisweilen bei *Südstürmen* ungewöhnlich stark negativ, selbst bei hellem Himmel.

Schübler's zahlreiche Beobachtungen über den Einflufs der Winde auf die Luftelektricität beziehen sich zunächst nur auf die Elektricität der atmosphärischen Niederschläge, des Regens, Schnees u. s. w.

Crosse bemerkt, dafs es einen Zustand der Atmosphäre gebe, bei welchem die Luft am mindesten elektrisch zu seyn pflegt; er tritt dann und wann ein unter Einwirkung eines Nordostwindes. Man hält ihn für besonders ungesund und kann ihn an einem Gefühle von Trockenheit und Kälte erkennen,

1 G. XX. 257.
2 G. VI. 337.
3 Vergl. *Luftelektrometer*.

welches er hervorbringt und dem kein Sinken des Thermometers entspricht.

B) Von der Elektricität des Nebels.

Die starke positive Elektricität des Nebels ist mit am frühesten beobachtet worden. Schon Beccaria fand die Elektricität bei dicken Nebeln, die nicht niederfielen, am stärksten. Dasselbe fand auch Romayne in Irland. Henley's Beobachtungen bezogen sich ganz besonders auf die Elektricität der Nebel. Er fand sie fast immer stark positiv, und zwar am meisten bei scharfem Frostwetter. Je dicker der Nebel, um so stärker fand er die Elektricität, jedoch besonders bei Südwestwind und wenn das Thermometer unter 40° F. stand. Zeigte ein Nebel bei dieser Temperatur keine Elektricität, so wehete gewöhnlich NO. Auch Volta beobachtete bei Nebeln stets eine aufserordentlich starke positive Elektricität. Sie war desto stärker, je dicker die Nebel waren, besonders aber alsdann stark, wenn es übrigens hell war und fror, und am allerstärksten, wenn der Nebel einen Geruch hatte. Ihre Stärke betrug nach seinem Strohhalmelektrometer 50, 80, ja 100°, brach in Funken aus, lud sehr bald eine Leidner Flasche u. s. w. Damit stimmen auch Saussüre's Beobachtungen überein, der nur in seltenen Fällen dann keine merkliche Elektricität beobachtete, wenn sich der Regen in Nebel auflöste. Schübler, Crosse und von Gersdorf bestätigten vollkommen diese früheren Beobachtungen.

C) Von der Elektricität der Wolken.

Die grofse Aehnlichkeit der Wolken mit dichtem Nebel offenbart sich auch durch ihren elektrischen Zustand. Schübler, auf einer Reise durch die Schweizer Alpen, welche ihn oft in die Wolkenregion führte, fand sie gewöhnlich positiv, und zwar von einer so grofsen Intensität, wie die der dichteren Nebel in tiefen Thälern. Negativ elektrisch fand er sie nur, wenn zugleich Regen aus ihnen herabfiel. Auf der Höhe des Rigi, nachdem es zu regnen aufgehört, fand Schübler bei Annäherung der Wolken, die an ihm vorüber zogen und ihn von Zeit zu Zeit einhüllten, stets eine Zunahme der positiven Elektricität.

D) Von der Elektricität der atmosphärischen Niederschläge des Regens, des Schnees, des Hagels, der Graupeln, und dem Einflusse der Winde.

Hierüber hat besonders Schübler genaue Beobachtungen angestellt. Jedes fallende meteorische Wasser ist bald mehr, bald weniger elektrisch und die Stärke der Elektricität desselben ist gewöhnlich bedeutend gröfser, als die der ruhigen atmosphärischen Luft. Nur sehr selten findet sich ein Regen ohne Elektricität, und gewöhnlich geschieht dieses nur dann, wenn ein positiv elektrischer Regen schnell mit einem negativ elektrischen abwechselt, wo das Elektrometer zuweilen auf einige Augenblicke auf 0 stehen bleibt, oder man findet das Elektrometer unter 0 am Anfange oder Ende eines negativ elektrischen Regens, beim Uebergange der gewöhnlichen positiven Elektricität der Luft in die des Regens oder umgekehrt, oder überhaupt bei unbedeutendem und schwachem Regen.

Die Stärke der Elektricität des fallenden meteorischen Wassers hat eine jährliche Periode. Am stärksten ist seine Elektricität im Sommer, am schwächsten im Winter. Das fallende meteorische Wasser scheint desto stärker elektrisch zu werden, je gröfser und deutlicher die täglichen elektrischen Perioden sind, je schwächer aber die freie Elektricität der untern Luftschichten ist. Die stärksten elektrischen Regen fallen nämlich in den Sommertagen, und so gerade in der Zeit, wo Dämpfe und Elektricität in grofser Menge unter Vermittelung der Wärme entwikkelt werden und zugleich die höheren Gegenden der Atmosphäre erreichen.

Die einzelnen Regen zeigen sich nach Schübler gewöhnlich desto stärker elektrisch, je dichter sie sind, oder überhaupt je schneller und je mehr Wasser in derselben Zeit aus Dunstbläschen in tropfbare Formen übergeht. Diese stärkere Elektricität zeigt sich vorzüglich bei einzelnen Platzregen, Strichregen und Gewitterregen. Merkwürdig ist besonders die Abwechselung zwischen der positiven und negativen Elektricität, welche das fallende meteorische Wasser darbietet. Während 12 Monaten fand Schübler das meteorische Wasser 71 mal positiv und 69mal negativ, also beide Elektricitäten beinahe gleich oft. Der Schnee war jedoch hierbei 24mal positiv und nur 6mal

negativ. In dem gegenwärtigen anfangs so regnichten Sommer (von 1830) habe ich den Regen fast constant positiv gefunden. Die einzelnen Regen zeigen oft anhaltend blofs die eine oder andere Elektricität, nicht selten zeigen sie aber auch ein gleich oft eintretendes Abwechseln zwischen positiver und negativer Elektricität. In Ansehung der Stärke dieser Elektricitäten findet sowohl nach dem jährlichen Mittel, als auch bei den einzelnen Regenschauern ein ähnliches Verhältnifs statt, als hinsichtlich der Zahl ihrer Abwechselungen, beide Elektricitäten finden sich im Mittel genommen in den elektrischen Regen von gleicher Stärke.

Schübler hat durch eine graphische Zeichnung eine anschauliche Darstellung dieser merkwürdigen Abwechselungen zwischen positiver und negativer Elektricität während der Dauer eines und desselben Regens oder Schnees zu geben gesucht[1]. Diese Abwechselungen hängen vorzüglich von Abwechselungen in der Stärke und zum Theil der Aggregation des Niederschlags selbst ab. Ein Beispiel wird die Sache noch weiter erläutern. Die Witterung war veränderlich bei Nordwest und steigendem Barometer, die Temperatur der Luft + 10° R. Der Beobachtungsort lag 1800 Fufs über der Meeresfläche. Am 17. Mai 8 Uhr Morgens kamen von Nordwest mit starkem Winde finstere Wolken, die gewöhnliche positive Elektricität wurde = 0 und ging in negative über, um 8 Uhr 11 Min. fing es an etwas zu regnen, Elektricität = — 23 (nach dem empfindlichsten Volta'schen Strohhalmelektrometer), der Regen verminderte sich wieder und mit ihm die negative Elektricität, um 8 U. 18′ fing es abermals an zu regnen mit + 90 Elektricität, um 8 U. 25′ fiel plötzlich starker Regen, die Elektricität stieg schnell bis — 85; um 8 U. 28′ wurde es etwas heiter mit aufhörendem Regen, um 8 U. 31′ fiel aufs Neue viel Regen in grofsen Tropfen, die Elektricität stieg bis — 100, um 8 U. 38′ hörte der Regen etwas auf, es näherten sich aber schon wieder finstere Wolken, die Elektricität wurde positiv und um 8 U. 45′ stürmte es mit viel Regen, die Elektricität stieg bis + 80, um 8 U. 48′ fiel wiederum starker Regen mit — E., um 8 U. 55′ hörte der Regen auf, der Himmel erhellte sich und die gewöhnliche positive Elektricität trat wieder ein.

Bei einem Schneefalle wechselte die Elektricität auf die

1 Schweigg. Journ. XI. 385.

Weise, dafs im Anfange die negative mit der Stärke des Schneefalls gleichen Schritt hielt, ihr Maximum erreichte, als kleine Schlofsen fielen, dann aber schnell ins Positive übersprang und bei viel Schnee mit grofsen Flocken und verstärktem Winde ihr Maximum erreichte. Nicht selten fand Schübler halbe Stunden nach Endigung eines negativen elektrischen Regens die unteren Luftschichten negativ elektrisch, selbst wenn der Himmel sich schon aufgehellt hatte, so dafs nicht die Elektricität benachbarter Wolken die Ursache davon seyn konnte.

Auch Saussüre beobachtete die grofse Veränderlichkeit der Intensität und Beschaffenheit der Elektricität beim Regen, auch wenn kein Gewitter damit verbunden ist; ein gleichförmiger Regen oder Schnee giebt ihm zufolge gewöhnlich positive Elektricität. Heller[1] glaubt nach den starken Zeichen von Elektricität, die er bei dem stürmischen Regen und Hagelwetter vorzüglich des Aprils und Mais an seiner Vorrichtung wahrnahm, dafs durch diese Frühlingsregen weit mehr Blitzmaterie aus der Atmosphäre herabkomme, als durch alle Donnerwetter des Sommers zusammengenommen. Für diese Art von Berechnung möchte es aber wohl an den gehörigen Datis fehlen. Nebel, Regen, Schnee, Hagel und Graupeln veränderten nach Crosse den elektrischen Zustand des von ihm ausgespannten Drahtes; gewöhnlich fand er ihn negativ, wenn sie anfingen zu erscheinen, dann aber wurde er häufig positiv mit allmäliger Zunahme und Wiederabnahme und mit Uebergang in den entgegengesetzten Zustand alle 3 oder 4 Minuten, und diese Erscheinungen fand er so constant, dafs man jedesmal, wenn der Draht negativ elektrisch war, dieses als ein sicheres Zeichen ansehen konnte, dafs Regen, Schnee, Hagel oder ein Nebel (?) in der Nähe des Apparats seyen, oder dafs eine elektrische Wolke nicht weit von ihm entfernt sey. Dabei fand er die Luftelektricität während des Regens gewöhnlich negativ.

Schübler hat auch in einem eigenen Aufsatze[2] seine Beobachtungen über den Einflufs der *Windesrichtung* auf die Elektricität der atmosphärischen Niederschläge des Regens und Schnees bekannt gemacht. Das Ergebnifs seiner 30monatlichen Beobachtungen ist in folgender Tabelle vereinigt, in welcher die Stärke der Elektricität durch Grade des Volta'schen Strohhalmelektrometers ausgedrückt ist.

1 Gren Journ. N. F. IV. S. 74.
2 Schweigg. Journ. LI. 240.

	Elektrische Niederschläge		Verhältniſs der positiven zu den negativen elektr. Niederschlägen.	Mittlere Stärke der Elektricität, der		Mittlere Stärke beider Elektricitäten.	Summe der Niederschläge.
	positive	negative		positiven	negativen		
N.	12	11	100 : 91	+ 131	— 99	116	23
NO.	11	12	100 : 109	+ 105	— 132	120	23
O.	3	5	100 : 166	+ 15	— 13	13	8
SO.	4	7	100 : 175	+ 19	— 10	13	11
S.	5	13	100 : 260	+ 26	— 23	24	18
SW.	28	65	100 : 232	+ 66	— 33	44	93
W.	73	106	100 : 145	+ 75	— 39	53	179
NW.	25	32	100 : 128	+ 31	— 46	40	57
bei den 3 nördlichen Winden NW, N, NO.	48	55	100 : 114	+ 74	— 75	75	103
bei den 3 südlichen Winden SO, S, SW.	37	85	100 : 230	+ 57	— 26	39	122
bei den 3 westlichen Winden SW, W, NW.	126	203	100 : 161	+ 57	— 38	48	329
bei den 3 östlichen Winden NO, O, SO.	18	24	100 : 133	+ 71	— 72	72	42
Allgemeinere Mittel.	161	251	100 : 155	+ 69	— 43	53	412

Was die Art der Berechnung der Stärke der Elektricität betrifft, so bemerkt SCHÜBLER, dafs, da bei Gewitterregen und vorüberziehendem Regen oder Schneegestöber die + und — E oft mit einander abwechsele, während bei anhaltendem Regen die Elektricität oft Tage lang ihren Charakter nicht ändert, man über die Stärke ein sehr unrichtiges Resultat erhalten würde, wenn man die beobachteten Grade der positiven Elektricität von der negativen abziehen wollte, wie etwa Kälte- und Wärme-Grade bei Berechnung der mittleren Temperatur von einander abgezogen werden. SCHÜBLER berechnete vielmehr sowohl die beobachteten positiven, als auch negativen Elektricitätsgrade jedesmal besonders. War + und — E einigermafsen mit einander abwechselnd, so addirte er die beobachteten Grade sowohl zu den + als — elektrischen Niederschlägen; zeigte sich ein Ueberwiegen der + oder — E, so wurden diese in entsprechendem Verhältnisse in Rechnung gebracht; zeigte ein Niederschlag blofs dieselbe Elektricität in verschiedener Stärke, so brachte er blofs den höchsten von ihm beobachteten Grad der Elektricität einmal in Rechnung. Uebrigens sind die Grade auf dasselbe Strohhalmelektrometer reducirt, nach welchem weiter oben durch SCHÜBLER die Intensität der atmosphärischen Elektricität bestimmt wurde. Es ist unnöthig, die Resultate, welche sich aus dieser Tabelle ergeben, noch besonders in Worte zu fassen, und ich werde nur unter der Rubrik *der Theorie* einige Anmerkungen über den Grund einer gewissen gesetzmäfsigen Abhängigkeit der Stärke und Beschaffenheit der Elektricität von einer *gewissen Richtung* der Winde folgen lassen.

E) Einflufs eines Gewitters auf die atmosphärische Elektricität.

Der Gang eines Luftelektrometers ist aufserordentlich veränderlich bei Annäherung eines Gewitters. SAUSSÜRE bemerkt, dafs bei einem Ungewitter die Elektricität bald lebhafter wird, bald aufhört, dann wieder zum Vorschein kommt, bald positiv ist, um einen Augenblick nachher wieder negativ zu werden, ohne dafs es eigentlich möglich sey, bestimmte Ursachen von allen diesen Veränderungen anzugeben, und er sah zuweilen diese Veränderungen so schnell auf einander folgen, dafs er nicht einmal Zeit hatte, sie aufzuschreiben.

Nach CROSSE bewirkte eine *geladene* Wolke, die sich sei-

nem ausgespannten Drahte näherte, in demselben zuweilen Zeichen von positiver, zuweilen von negativer Elektricität. In beiden Fällen wächst die Ladung bis zu einer gewissen Gröſse, nimmt dann ab, geht in die entgegengesetzte über und wächst als solche noch stärker an, als beim ersten Maximum, vermindert sich aber, verschwindet und kehrt zur ersten Art zurück. Solcher Abwechselungen sind oft sehr viele, sie folgen auf einander bald schneller, bald langsamer, gewöhnlich nehmen sie bei Wiederholung an Intensität zu, bis zuletzt ein ununterbrochener Strom dichter Funken aus dem atmosphärischen Leiter auf die Kugel, welche sie abführte, überströmte. Bei jedem Blitze, der sich in der Nähe zeigt, erscheint zwischen den Kugeln des Apparats unter einem besondern Geräusche ein Entladungsstrom, von dessen lebhaftem Lichte alle umherliegende Gegenstände erleuchtet werden. Schübler hat in einer graphischen Zeichnung [1] die Wirkung, welche ein seitwärts und ein gerade über dem Zenith vorüberziehendes Gewitter auf sein Luftelektrometer ausübte, dargestellt. Die Elektricität war den Tag über schwach positiv gewesen, gegen 6 Uhr Abends fing es an zu regnen, die Elektricität des Regens war anhaltend negativ, gegen 7 Uhr hörte der Regen auf, finstere Wolken bedeckten aber den Himmel, und am südwestlichen Horizonte fing ein Gewitter unter entfernten Blitzen und Donner aufzusteigen an. Die Luftelektricität war noch immer negativ, mit jedem Blitze veränderte sie sich aber plötzlich, die Pendel des Elektrometers näherten sich dem Nullpuncte, gingen aber nach jedem Blitze mit negativer Elektricität wieder aus einander, mit Annäherung des Gewitters verminderte sich diese negative Elektricität mehr und mehr, um 7 Uhr wurde sie bei einem Blitze plötzlich null und schwach positiv, nach dem Blitze wurde sie aber wieder etwas negativ, um 7 U. 18′ ging sie ganz ins Positive über, wuchs immer mehr, erreichte ihr Maximum bei der gröſsten Annäherung des Gewitters, nahm eben so wieder ab und ging zuletzt wieder in die negative über, als es beim Abzuge des Gewitters zu regnen anfing; nach einer halben Stunde hörte auch der Regen wieder auf und die Luftelektricität ging nun wieder langsam in die gewöhnliche positive über.

In dem 2ten Falle war die Elektricität von Anfange an po-

---

1 Schweigg. Journ. XI. 378.

sitiv, nahm viel schneller zu, es regnete zugleich in grofsen Tropfen. Als das Gewitter am nächsten stand, ging unter einem heftigen Blitze mit bald darauf folgendem Donner die positive Elektricität plötzlich in negative von beinahe gleicher Stärke über, zugleich kam ein starker Regengufs. Von diesem Augenblicke an zeigte sich eine entgegengesetzte Ordnung im Steigen und Fallen des Elektrometers, mit jedem Blitze nahm nun die negative Elektricität zu, gerade so wie zuvor die positive zugenommen hatte. Das Gewitter entfernte sich von Minute zu Minute und damit verminderte sich auch wieder die negative Elektricität, es regnete dabei anhaltend. Nun wurde die Elektricität aufs neue positiv, es erfolgte der letzte Blitz mit + E, es fiel plötzlich ein negativ elektrischer Regen, welcher nach einigen Abwechselungen wieder aufhörte, die negative Elektricität nahm nun zwar ab, blieb aber auch nach aufhörendem Regen noch längere Zeit negativ, und erst nach einer halben Stunde trat die gewöhnliche positive Luftelektricität wieder langsam ein.

IV. Theorie der Erscheinungen der atmosphärischen Elektricität.

Eine genügende Theorie der Luftelektricität hat die Quellen nachzuweisen, aus welchen sich diese Elektricität entwickeln kann, und darf nur dann auf Beistimmung rechnen, wenn sie solche Quellen zum Grunde legt, in Beziehung auf deren Wirksamkeit sich Abänderungen nachweisen lassen, aus denen die erfahrungsmäfsig bestimmten Abänderungen der Luftelektricität sowohl ihrer Intensität, als auch ihrer Qualität nach begreiflich sind und zugleich mit den anerkannten Gesetzen der Entstehungsart und des Wechsels der Elektricität im Einklange sich befinden.

So lange die Erfahrungen über atmosphärische Elektricität noch unvollständig waren, konnte von einer solchen Theorie nicht die Rede seyn, und dieses gilt daher von den früheren Hypothesen, deren Unhaltbarkeit von selbst einleuchtet, z. B. derjenigen, welche die Entstehung der Luftelektricität der Reibung der Wolken und Luftheilchen an einander durch Winde und Luftströme zuschrieb, eine Hypothese, die schon Wilke gründ-

lich widerlegte [1], und welche allein durch die Beobachtung über den Haufen geworfen wird, daſs starke Winde die Luftelektricität vielmehr schwächen, daſs gerade bei der stillsten Luft, wenn reichlicher Abendthau fällt, die Luftelektricität ihr Maximum erreicht, daſs überhaupt bei starken Nebeln, wo gewöhnlich die Luft am ruhigsten ist, die stärkste Elektricität in derselben herrscht. Eben dieses trifft Franklin's Hypothese, welcher zufolge die Wasserdünste, aus denen die Wolken bestehen, durch ihre starke Verdünnung von selbst negativ elektrisch werden sollen, weswegen alle Wolken, besonders die Seewolken, auch ohne Reibung elektrisch wären, eine Hypothese, die von der eigentlichen Luftelektricität keine Rechenschaft giebt und der Erfahrung zuwider die Wolken als allgemein negativ elektrisch annimmt. Sinnreich war allerdings die Muthmaſsung, welche Canton zuerst geäuſsert hat, daſs die Luft, wie der Turmalin, durch die Abwechselungen der Kälte und Wärme elektrisirt werde. Wilke stimmte dieser Meinung bei und hielt die Spitzen der Berge, an welchen so oft Gewitterwolken entstehen, ebenfalls für Turmaline, deren Elektricität durch die Hitze verstärkt sey. Sie ziehen alsdann die leitenden Dünste an, die eine Wolke bilden, durch die Mittheilung eine gleichartige Elektricität mit den Bergen erhalten und alsdann von selbigen abgestoſsen werden u. s. w. Man kann eine solche Erklärung mehr einen witzigen Gedanken, als eine wahre Theorie nennen, da sie von den so mannigfaltigen Abänderungen in den Erscheinungen gar keine Rechenschaft giebt.

Saussüre war der erste, der eine eigentliche Theorie der Erscheinungen aufstellte, indem er die verschiedenen Modificationen derselben aus einem einfachen Principe zuerst mit einigem Erfolge ableitete. Diese Theorie hat zu ihrer Grundlage die wichtige Entdeckung Volta's, daſs bei der Verdunstung des Wassers die Dämpfe die positive Elektricität mit in die Höhe führen, während das Gefäſs, aus welchem die Verdunstung geschieht, negativ zurückbleibt. Saussüre selbst stellte eine Reihe von Versuchen an, um dieses Verhältniſs noch mehr aufzuklären, und baute sogar auf die Resultate dieser Versuche eine Theorie der Natur und Bildung der elektrischen Flüssigkeit. In

1 Anm. zu Franklin's Briefen über die Elektricität. Leipz. 1758. 8. S. 299.

besonderer Anwendung seiner Theorie auf die Erklärung der Erscheinungen der atmosphärischen Elektricität und ihrer wichtigsten Abänderungen glaubte er, indem er der Franklin'schen Theorie von einer elektrischen Materie huldigte, dafs diese Elektricität (im dualistischen Systeme die positive), unsichtbar und unwirksam gemacht durch die Einhüllung in die Dämpfe, mit diesen emporsteige, nachher aber ihre Kraft entwickle, wenn diese Dünste ihre Gestalt verändert haben, d. h. wenn sie aus dem bläschenförmigen Zustande durch das Element des Feuers eines unsichtbaren elastischen Dampfes verwandelt worden sind, und durch ihre durchdringende und ausdehnende Kraft wieder belebt herabkomme, auch von den Gipfeln der Bäume, den Spitzen der Blätter, den Bärten der Aehren eingesogen werde. Um die täglichen Veränderungen der atmosphärischen Elektricität, wie sie sich namentlich an einem kalten heitern Wintertage so regelmäfsig zeigen, jene doppelte Ebbe und Fluth zu erklären, unterscheidet er hierbei eine doppelte Wirkungsart der Dünste, indem sie bald als hervorbringende Ursachen der Luftelektricität, bald als Leiter derselben wirken sollen, welche beide Wirkungen sie sogar gleichzeitig ausüben können. Gegen das Ende der Nacht erscheine die Elektricität der Luft so schwach, theils weil die Ausdünstung alsdann fast gar nicht mehr statt habe, theils weil die Feuchtigkeit des vorhergehenden Abends und die der darauf folgenden Nacht fast alle elektrische Flüssigkeit, die in der Luft angehäuft ist, in die Erde herabgebracht habe. Wenn aber die Sonne wieder anfange die Erde zu erwärmen, so vermehre sich die Elektricität der Luft, so wie die Sonne über den Horizont emporsteige, weil die Dünste, die die Wärme aus der Erde treibe, Elektricität in die Luft tragen und dieselbe zum Theil daselbst lassen, die sich dann in dieser Höhe anzuhäufen anfange. Komme unterdefs die Sonne bis auf einen gewissen Grad von Höhe, so nehme die Wärme viel stärker zu, als die Ausdünstung, die Luft werde trocken und lasse das elektrische Wesen, das in den oberen Regionen der Atmosphäre angehäuft sey, nicht anders als mit Mühe durchdringen. Darum gebe nun das Elektrometer, besonders nahe an die Oberfläche der Erde gebracht, Zeichen von Abwesenheit der Elektricität, ungeachtet diese nicht aufhöre, sich oben im Dunstkreise anzuhäufen. Wenn sich endlich die Sonne gegen ihren Untergang neige, so werde die Luft kühler und feuchter und fange an, das in der Höhe angehäufte

elektrische Wesen in gröſserer Menge der Erde mitzutheilen. So scheine die Luftelektricität mit der Feuchtigkeit in dem Thau zuzunehmen, bis 2 oder 3 Stunden nach dem Untergange der Sonne, und wenn die Luft durch Ableitung nach dem Erdboden mehr und mehr davon verliere, so nehme die Elektricität von neuem ab, bis an den folgenden Tag. Die viel geringere Elektricität im Sommer als im Winter erklärt Saussüre aus der bis in eine gröſsere Höhe warmen und trockenen Luft, die der Zuleitung der in den höhern Gegenden angehäuften Elektricität mehr Widerstand leiste, welche eben deswegen weniger abgeleitet die Veranlassung zu den heftigen und öfters wiederkehrenden Ungewittern in dieser Jahreszeit geben soll. Die Zunahme der Elektricität, welche nach Saussüre's Beobachtungen an heitern und zugleich heiſsen Sommertagen vom Aufgange der Sonne an bis Nachmittags 4 oder 5 Uhr statt finden soll, glaubt er durch trockene Dünste erklären zu können, welche die Hitze der Sonne aus der Erde herauslocke und welche die Elektricität fortwährend der Erde zuleiten können. Die Abnahme der Luftelektricität, wenn sich in einer vorher hellen Luft Wolken bilden, erklärt er daraus, daſs die freie Elektricität sich mit den Dünsten vereinige, wenn diese, um Wolken zu bilden, die Gestalt von Bläschen annehmen, und dadurch latent werde. Die Vermehrung der Luftelektricität, welche dann zumal statt findet, wenn die Luft nach regnerischem Wetter hell zu werden beginnt, rührt eben diesen Grundsätzen zufolge von der Elektricität her, welche die Dunstbläschen frei lassen, wenn sie sich in der Luft auflösen. Die starke positive Elektricität des Nebels erklärt endlich Saussüre aus dem vortrefflichen Leitungsvermögen desselben, vermöge dessen derselbe die Elektricität der höheren Schichten der Atmosphäre herableite und dem Elektrometer zuführe.

In welchen natürlichen Zusammenhang aber auch diese Theorie viele Erscheinungen der atmosphärischen Elektricität mit den bekannten Gesetzen der Elektricität überhaupt zu bringen scheint, so ist sie doch schon darum nicht zulässig, weil sie auf einer falschen Grundlage beruht, nämlich auf der Grundlage der Saussüre'schen Theorie der Verdunstung, welche jetzt allgemein als irrig anerkannt ist. Daſs es eine Bläschenform der Dünste gebe und daſs namentlich die Wolken aus solchen Bläschen bestehen, ist allerdings keinem Zweifel unterworfen,

aber die Behauptung ist unrichtig, daſs das Wasser bei seiner Verdunstung stets durch die Bläschenform hindurchgehe, ehe es durch Hülfe der Wärme in den unsichtbaren elastisch-flüssigen Zustand verwandelt werde. Vielmehr findet in der Regel dieser Zustand vom Anfange an statt, und da durch die Verdunstung die Gefäſse, aus welchen dieselbe geschieht, (mit Ausnahme gewisser Fälle, die aber beim Verdunsten des Wassers in der Natur nicht vorkommen) negativ elektrisch zurückbleiben, die Dämpfe dagegen, so lange sie in ihrem elastischen Zustande beharren, keine freie positive Elektricität zeigen, so müssen sie dieselbe gebunden enthalten, zu deren Freiwerden also kein anderes Mittel übrig bleibt, als ihr Zurückgang in den vorigen tropfbar-flüssigen Zustand oder auch in den Bläschenzustand, aber keineswegs ein weiterer Uebergang in einen unsichtbaren elastischen Zustand, welcher Uebergang nicht statt findet, weil er ja gerade der ursprüngliche Zustand ist, den das Wasser bei der Verdunstung sogleich annimmt. Dabei ist die Erklärung der starken positiven Elektricität des Nebels und des Abendthaus nach Saussüre gezwungen, da man nicht begreift, wie die Elektricität der höheren Luftschichten, zwischen welchen und der unteren Luft, in welcher sich der Nebel befindet oder der Thau sich niederschlägt, doch noch viele nichtleitende Luftschichten sich finden, zu den untern Schichten in hinlänglicher Menge gelangen soll, um eine so starke Wirkung auf das Elektrometer zu äuſsern, vielmehr alles darauf hinzudeuten scheint, daſs die Elektricität in diesen untern Schichten selbst unmittelbar frei werde. Diese und mehrere andere Erscheinungen scheinen daher viel ungezwungener erklärt zu werden, wenn man annimmt, daſs die positive Elektricität nicht in dem Augenblicke frei werde, wenn das Wasser in den Zustand eines unsichtbaren elastischen Dampfes übergeht, sondern gerade im Gegentheile, wenn der Dampf seinen elastischen Zustand aufgiebt und in die Bläschenform oder die tropfbar-flüssige zurücktritt, wobei eben die vorher von ihm gebundene positive Elektricität frei wird und dann erst auf das Elektrometer wirken kann. So erklärt sich wenigstens auf eine sehr ungezwungene Weise die starke positive Elektricität aller Arten von Nebeln, des Abendthaues, der Wolken, sowohl dieser selbst, als auch der untern Luftschichten, besonders wenn eine schnelle Wolkenbildung statt findet unmittelbar vor Gewittern, die Zunahme der Elektricität

in den ersten Stunden des Tages nach Aufgang der Sonne, weil der Erdboden viel schneller erwärmt wird, als die Luft selbst, und daher ein Theil der Dämpfe, wenn sie in die höheren Gegenden der Atmosphäre gelangen, wieder zersetzt wird und den alsdann auch sichtbar dunstigen Zustand der Atmosphäre hervorbringt, die Abnahme der Luftelektricität gegen Mittag, wenn die mehr erwärmte Luft den sichtbaren Dunst wieder auflöst und eine neue Bindung der Elektricität bewirkt. Selbst die häufig negative Elektricität des Regens läſst sich aus der dann stärker statt findenden Verdunstung erklären. Volta hat schon früher die starke negative Elektricität der Wasserfälle sehr befriedigend aus dieser Verdunstung erklärt [1]. Man hat zwar in neueren Zeiten die Grundlage dieser Theorie, nämlich die Bindung der positiven Elektricität durch die Dämpfe unter Zurücklassung des Gefäſses, aus welchem die Verdunstung geschieht, im negativ elektrischen Zustande, zu erschüttern gesucht, indem man sich namentlich auf Pouillet's Versuche berief [2], welchen zufolge reines destillirtes Wasser bei seiner Verdunstung aus einem rothglühenden Platintiegel keine Spur von Elektricität erzeugt, aber eben diese Versuche haben bewiesen, daſs, sobald man dem Wasser nur eine kleine Quantität salzsaurer oder schwefelsaurer oder salpetersaurer Salze zusetzt, der Platintiegel sogleich mit negativer Elektricität auftritt, folglich die Dünste positive Elektricität mit sich führen. Aber gerade das in der Natur vorkommende Wasser, insbesondere die reichlichste Quelle der Verdunstung, das Meerwasser, enthält immer einen Theil solcher Salze aufgelöst. Im Geiste dieser Theorie sucht auch Schübler die verschiedene Beschaffenheit und Stärke der Elektricität der meteorischen Niederschläge begreiflich zu machen [3]. Beim Niederschlage der in der Atmosphäre schwebenden Dämpfe, sagt Schübler, scheint sich ursprünglich positive Elektricität zu bilden, negative hingegen häufiger durch polarischen Gegensatz, durch elektrische Vertheilung zu entstehen. Die bei Gewittern, vorüberziehenden Regengüssen und Schneestürmen sich ereignenden Niederschläge sind gewöhnlich

---

1 Meteorologische Briefe S. 225. Vgl. auch Schübler in Schweigg. Journ. IX. 357.

2 Poggend. Ann. XI. 442.

3 Schweigg. Journ. LV. 211.

zuerst positiv, auf den positiv elektrischen Niederschlag folgt oft plötzlich ein negativ elektrischer, gewöhnlich nahe genau von gleicher Stärke der Elektricität, und solcher Niederschläge wechseln oft mehrere mit einander ab, bei denen auch die Form, Gröſse, Häufigkeit der Regentropfen, Schneeflocken, Schloſsen, Graupeln u. s. w. variiren. Nicht selten geschieht es aber auch, daſs mehr gleichförmig und ruhig fallende Regen sogleich anfangs und selbst Tage lang bloſs negative Elektricität zeigen. Die Entstehung der negativen Elektricität der Regen scheint daher oft noch auf einem andern Grunde zu beruhen, wofür auch das nach diesen Beobachtungen sich ergebende häufigere Hervortreten dieser Elektricität mit geringer Intensität spricht. Wahrscheinlich entsteht diese negative Elektricität nicht selten durch theilweises Verdunsten der herabfallenden Regentropfen; die einzelnen Tropfen bilden eine verdunstende Basis, welche während des Herabfallens durch Verdunstung wie gewöhnlich negativ elektrisch wird. Die gröſsere Häufigkeit der negativ elektrischen Regen bei südlichen Winden und dagegen der positiv elektrischen bei nördlichen ist vorzüglich dieser Erklärung günstig; bei südlichen Winden strömt die wärmere leichtere Luft vorzugsweise in den höheren Luftschichten gegen Norden, während dagegen bei nördlichen Winden die kältere dichtere Luft der Erdoberfläche näher südlich hinzieht, wobei die Wolken im Allgemeinen einen tieferen Stand haben. Die gröſsere Intensität der Elektricität bei den nördlichen und östlichen Winden und das reinere Hervortreten ihrer Gegensätze scheint sich vorzüglich aus der gröſseren Trockenheit der Luftschichten zu erklären, welche im Allgemeinen bei dieser Richtung statt findet, wozu dann zugleich das tiefere Ziehen der Wolken bei östlichen Winden vieles beitragen kann; ihre Elektricität wird dadurch natürlich leichter und stärker auf unsere Instrumente einwirken können.

De Lüc's Ansichten über die Entstehung der Meteore, der Luftelektricität des Blitzes und Donners[1] sind so voll von willkürlichen Voraussetzungen und geben eine so unvollkommene Rechenschaft von dem Detail der Erscheinungen, daſs wir uns einer Darlegung derselben unbedenklich überheben können.

Anders verhält es sich mit Erman's und Prechtl's Ansichten, da sie die ganze bisher angenommene Lehre von der

1 G. XLI. 181.

Luftelektricität durch neue Erfahrungen bestreiten, ja sogar das Daseyn einer eigenthümlichen atmosphärischen Elektricität überhaupt verdächtig machen. Erman bemerkte nämlich einen ausgezeichneten Unterschied zwischen den Angaben eines schnell vom Boden aufwärts gehobenen Elektrometers und den elektrometrischen Angaben einer ungleich längeren, aber fest stehenden Ableitungsspitze einer isolirten Wetterstange, wenn mit beiden zu einerlei Zeit und an dem nämlichen Orte beobachtet wurde. Während er dem Gesetze und dem Grunde dieses auffallenden Phänomens nachspürte, entdeckte er mehrere ihm ganz unerwartete Erscheinungen. Bei den sich darauf beziehenden Beobachtungen gebrauchte er Blattgoldelektrometer, und zwar die äufserst empfindlichen, die Weiss zum Behuf der atmosphärischen Elektrometrie nach der Anleitung v. Gersdorf's zu Meffersdorf verfertigt. Die Länge der Goldblättchen dieser Elektrometer beträgt ungefähr 0,5 par. Zoll, und der Glascylinder, der sie umgiebt, hat 0,75 Zoll Durchmesser und 1,5 Zoll Höhe. In dem abgerundeten elfenbeinernen Deckel, der über dem Cylinder seitwärts nicht vorspringt, ist eine Glasröhre eingekittet, durch welche das Metallstück geht, das an seinem untern Theile die Goldblättchen trägt und nach oben eine hervorragende Schraubenmutter hat, in welche sich die verschiedenen metallenen Spitzen, die man dem Elektrometer nach Umständen geben will, einschrauben lassen. Ihre Länge kann nach Belieben von 0,75 Fufs bis auf 5 Fufs und darüber verändert werden.

Es sey nun ein solches Elektrometer auf irgend einer Unterstützung von etwa 3 Fufs Höhe im freien Felde aufgestellt und bleibe eine geraume Zeit sich selbst überlassen, so wird man in der Regel gar keine Divergenz wahrnehmen, es ist und bleibt 0 elektrisch. Erhebt man hierauf das Elektrometer äufserst langsam um 1 bis 1,5 Fufs über die Unterstützung, so wird man auch dann keine Divergenz wahrnehmen, so lange das Elektrometer sich in dieser erhöhten Station befindet. Nun bringe man aber schnell das Elektrometer von oben nach unten bis zur Unterstützung herab, so hat man eine so ausgezeichnete negative Divergenz, dafs meistentheils die Goldblättchen anschlagen. Man überlasse das Elektrometer sich selbst oder berühre es ableitend, so wird es in beiden Fällen die negative Divergenz verlieren, nur viel langsamer im ersten als im letzten Falle. Ist die vorige negative Divergenz verschwunden, so bringe man

schnell das Elektrometer von der Unterstützung in die vorige Höhe von 1 bis 1,5 Fufs, so wird sich eine äufserst starke positive Divergenz einstellen, die ebenfalls oft bis zum Anschlagen der Blättchen geht. Entfernt man diese positive Divergenz wieder von dem Elektrometer und bringt es wiederum schnell nach der Unterstützung niederwärts, so bekömmt man abermals negative Divergenz, und so erhält man in derselben Station und in derselben Luftschicht bald + E, bald — E, je nachdem man das Instrument schnell vom Boden entfernt oder diesem schnell näher bringt, und endlich 0 E, wenn man es lange sich selbst in derselben Entfernung vom Boden überläfst. Diese Erscheinungen sind bei Anwendung eines sehr empfindlichen, mit einer Spitze von 3 — 4 Fufs versehenen, Elektrometers so ausgezeichnet, dafs schon eine steigende oder fallende Bewegung von 0,5 Fufs, ja von einigen Zollen bei günstigem Wetter hinreichend ist, um die angeführten Erscheinungen sehr deutlich zu zeigen. Jener Erfolg findet auch statt, wenn man das Elektrometer weder mit dem Boden leitend verbindet, noch demselben Zeit läfst, sich allmälig an die Luft zu entladen, doch sind in diesem Falle die entgegengesetzten Divergenzen nicht so stark, als wenn man es vor jedem Steigen und Fallen mit dem Boden in Verbindung gesetzt hat. Selten sind die Umstände durch das Maximum von Feuchtigkeit so ungünstig, dafs man die Erscheinungen nicht vermittelst einer Spitze von 4 bis 5 Fufs sollte sehr deutlich wahrnehmen können. Eine kreisförmige Bewegung, wobei das Elektrometer in der nämlichen Entfernung vom Boden bleibt, giebt keine Divergenz, und eben so wenig eine fortschreitende, wenn der Boden durchaus eben ist; steigt oder fällt aber das Terrain, sey es auch noch so wenig, so giebt schon beim Gebrauche einer Spitze von 3 Fufs das Elektrometer eine sehr ausgezeichnete positive Divergenz, wenn man sich bergan bewegt, und im entgegengesetzten Falle eine negative. Erman glaubt nun, dafs in allen diesen Fällen gar nicht von einer sogenannten Einsaugung der Luftelektricität die Rede sey, sondern dafs hier eine wahre Elektrisirung durch Vertheilung statt finde, dafs die Masse des Bodens auf den isolirten Leiter eine sehr kräftige Einwirkung in die Ferne äufsere, und dafs dieses Spiel der Atmosphären, abgesehen von jeder etwaigen Concurrenz der Luft, eine eigene Classe von Erscheinungen constituire, deren Kenntnifs für das Praktische sowohl, als auch für das

Theoretische der atmosphärischen Elektrometrie von großer Wichtigkeit sey. Die umgebende Luft, weit entfernt, hierbei mitzuwirken, zerstöre vielmehr diese Wirkung. Dieses bemerke man bei der ganz allmälig gehobenen Spitze, die ihre Elektricität so an die Luft absetze, daſs keine wahrnehmbare Divergenz statt finde. Eine Kugel von einigen Zollen Durchmesser, die man auf die Spitze des Drahtes eines gehobenen Elektrometers stecke, hindere die augenblickliche Erscheinung der Divergenz nicht im mindesten, welches sie doch, und zwar in einem hohen Grade, thun sollte, wenn die Divergenz von einer wirklichen Einsaugung der Elektricität aus der umgebenden Luft herrührte. Erman steckte den Zuleitungsdraht des Elektrometers seiner ganzen Länge nach in eine oben zugeschmolzene, ganz vollkommen isolirte Glasröhre und fand bei senkrechter Herauf- und Herab-Bewegung des auf diese Art gegen jede Berührung der äuſsern Luft geschützten Drahtes eben so groſse und so schnelle positive und negative Divergenzen, als zuvor, da die Spitze in freier Berührung mit der Luft war. Daſs der Grund, warum die mit Spitzen versehenen Elektrometer, wenn sie mit der von Saussüre gewöhnlich angewandten Manipulation gebraucht werden, viel stärkere Zeichen von Elektricität geben, als die feststehenden Wetterstangen, nicht in der viel vollkommenern Isolation, welche erstere zulassen, liege, glaubt Erman durch folgenden Versuch hinlänglich bewiesen zu haben. Er setzte aus mehreren langen gefirniſsten Glasröhren eine Stange von 14 Fuſs Länge zusammen, die er auf freiem Felde aufstellte. An der obersten Spitze der Glasstange befestigte er einen hervorragenden Metalldraht und führte diesen bis ganz nach unten ohne Unterbrechung herab. Das unterste Ende wurde mit einem Elektrometer verbunden. Gab er diesem Drahte durch Berührung mit einem kleinen geriebenen Bernsteinknöpfchen einige Elektricität, so zeigte das Elektrometer dieselbe eben so an und behielt sie eben so lange, als wäre es mit keinem andern Körper in Berührung. Es war also dieser feststehende Draht auf das vollkommenste isolirt, und doch gab er keine Spur von sogenannter Luftelektricität, während doch daneben ein frei gehaltenes und mit einem Drahte von einigen Fuſsen versehenes Elektrometer durch eine Erhöhung von einigen Zollen die stärkste positive Divergenz gab.

Nach Erman sollen alle Körper, selbst wenn sie sich in

der nämlichen Luftschicht befinden und durch vorhergehende ableitende Berührung mit dem Boden in das nämliche elektrische Gleichgewicht versetzt sind, doch durch wechselseitige Annäherung und Entfernung an und von einander ihren elektrischen Zustand modificiren. Zu dem Ende nahm er zwei gleich zarte Blattgold-Elektrometer, versah beide mit einer drei Fuſs langen Spitze und bog, um sehr deutliche Resultate zu erhalten, den Draht des einen Elektrometers so in einen Winkel, daſs man ihn ganz dicht und parallel an den Draht des andern Elektrometers bringen konnte. Demnächst nahm er in jede Hand eines der Fuſsgestelle der Elektrometer und entfernte beide von einander durch Ausstrecken der Arme. In dieser Entfernung berührte er den oberen Theil eines jeden mit dem Finger, um sie mit dem Boden und der umgebenden Luft ins Gleichgewicht zu bringen, führte dann beide ganz waagerecht gegen einander, und sobald ihre parallelen Drähte einander nahe genug kamen, um das Spiel der Atmosphären zu gestatten, so divergirten beide Elektrometer mit — E. Je näher die Drähte einander kamen, desto stärker war die negative Divergenz, und sie blieb sogar auf ihrem Maximum, während die Drähte beide in Berührung waren. Entfernte man die Elektrometer wieder von einander und führte sie in ihren vorigen Standpunct, so war jede Divergenz verschwunden. An eine Einsaugung von Luftelektricität, meint Erman, sey hierbei gar nicht zu denken, da nach der Trennung, sie mag auch noch so schnell geschehen, sich die Elektrometer in dem nämlichen elektrischen Zustande, als zuvor, nämlich beide auf 0 E befinden. Setzt man den einen Elektrometerdraht, während beide wechselseitig auf einander wirken, durch Berührung mit dem Finger in leitende Verbindung mit dem Boden, so wird dadurch die Divergenz im zweiten isolirt gebliebenen sehr vermindert und fällt augenblicklich beinahe auf die Hälfte der vorigen zurück. Entfernt man hiernächst das berührte Elektrometer von dem andern, so wird jenes eine positive Divergenz zeigen, die der vorigen negativen Divergenz dem Grade nach gleich ist. Berührt man beide Spitzen, während sich die eine nahe bei der andern befindet, ableitend, so hört die negative Divergenz beider auf; sobald man sie aber dann von einander entfernt, zeigen beide sehr starke positive Divergenz. Auf diese Art hält Erman es für erwiesen, daſs alle Körper, selbst diejenigen, welche durchaus im elektrischen

Gleichgewichte mit dem Boden und der umgebenden Luft sind und mithin keine Divergenz geben können, doch unter dem Einflusse des Bodens, d. h. im Freien, elektrische Atmosphären haben, wodurch sie in der Annäherung zu und in der Entfernung von einander ihren elektrischen Zustand wechselseitig modificiren. Da schon die elektrische Atmosphäre eines dünnen Metalldrahtes von einigen Fuſs Länge so ausgezeichnet wirkte, so lieſs sich wohl auch erwarten, daſs jeder andere Körper, der eine gröſsere Oberfläche besitzt, noch weit kräftiger die natürliche Elektricität der angenäherten Körper vertheilend modificiren werde. Um darüber durch Versuche Belehrung zu erhalten, wählte Erman ein freies und ganz ebenes Feld, auf welchem sich ein isolirter Baum befand. Von diesem entfernte er sich etwa um 20 Fuſs und brachte dort die Spitze des Elektrometers, das er in der Hand hielt, durch den Finger in ableitende Berührung mit dem Boden. Hierauf trug er das Elektrometer in ganz waagerechter Richtung gegen den Baum hin. Es fing an, negativ zu divergiren, und je näher er dem Baume kam, desto stärker wurde die negative Divergenz, und oft ging sie bis zum Anschlagen in dem Augenblicke, wenn er unter den Baum trat. Diese negative Divergenz war nicht bloſs vorübergehend, sondern blieb unverändert dieselbe, so lange auch das Elektrometer in der Nähe des Baumes gehalten wurde. Entfernte er sich aber vom Baume, so verlor sie sich allmälig und verschwand ganz und gar, wenn er auf die vorige Station zurückgekommen war. Mithin fand auch hier keine wirkliche Mittheilung zwischen Luft und Elektrometer statt, sondern eine bloſse Vertheilung, durch die Atmosphäre des Baumes bewirkt. Wurde das Elektrometer unter dem Baume ableitend berührt und entfernte man sich dann von demselben, so zeigte sich von neuem Divergenz, und zwar die entgegengesetzte. Daſs die Elektricität in den obigen Versuchen nicht durch Einsaugung, sondern durch die vertheilende Wirkung des Erdbodens erregt werde, bewies nun noch auf eine ganz entscheidende Art die Thatsache, daſs der Draht des Elektrometers sich nicht gleichmäſsig elektrisch in seiner ganzen Länge verhielt. Zwei Elektrometer wurden so neben einander gestellt und verbunden, daſs vermöge einer passenden, unter zwei rechten Winkeln angebrachten Biegung der zugespitzte Draht des oberen Elektrometers die Fortsetzung des zugespitzten Drahtes des unteren bildete. Wurde dieser so zu-

sammengesetzte Leiter berührt, um ihn in ableitende Verbindung mit dem Erdboden zu bringen, so zeigte keines von beiden Elektrometern eine Spur von Divergenz, wurden aber beide Elektrometer von einander getrennt, indem man das eine in ganz waagerechter Richtung wegbewegte, so zeigte bloſs das untere Elektrometer Divergenz, und zwar positive, mit der merkwürdigen Eigenthümlichkeit, daſs diese um so viel stärker hervortrat, je näher nach dem oberen Ende des Leitungsdrahtes die Berührung geschehen war. Erhob man den auf diese Art aus zwei Elektrometerspitzen zusammengesetzten Leiter von 6 Fuſs um einige Fuſs senkrecht vom Boden, so entstand in beiden Elektrometern eine gleiche positive Divergenz. Sobald nun beide durch eine horizontale Bewegung getrennt wurden, so behielt das obere Elektrometer seine vorige Divergenz, indeſs die Divergenz des unteren zunahm, so daſs sie oft bis auf das Doppelte der vorigen kam.

Obgleich die bisher beschriebenen Erscheinungen sich gewöhnlich zeigen, so findet man doch unter gewissen Umständen auch Anomalieen. Wenn nämlich bei etwas stürmischer Witterung über dem Zenith des Beobachters eine Wolke hinzieht, vorzüglich wenn sie daselbst verweilt und an scheinbarem Umfange zunimmt, oder wenn ein vorübergehender Regenschauer anfängt sich zu ergieſsen, oder endlich wenn Schnee oder Hagel am Orte der Beobachtung fällt, so stellen sich für diesen Augenblick die Phänomene nach entgegengesetzter Norm ein; das Elektrometer, welches man dem Erdboden nähert, divergirt mit +E, und durch die Erhebung wird es negativ elektrisch, und so geschieht überhaupt das Widerspiel von alle dem, was vorher beschrieben worden ist. Allein die Periode dieser Abweichung ist nie von Dauer. Es ist bloſs ein Uebergang und der sogenannte negative Zustand der Atmosphäre tritt weder bei anhaltendem Landregen ein, wo die Erscheinungen ganz wegfallen, noch bei durchgängig umwölktem Himmel, wo das gehobene Elektrometer eben so gut positiv divergirt, als wenn der Himmel völlig heiter ist. Ein solcher Uebergang ist aber oft äuſserst schnell; während einer Minute gab oft das mehrere Male hinter einander gehobene und immer gehörig entladene Elektrometer sehr starke positive Divergenz, dann 0 E und unmittelbar darauf — E. Auch andere Physiker haben bei der Wiederholung der Erman'schen Versuche einen gleichen Erfolg erhal-

ten, namentlich von Gersdorf nach dem Zeugnisse des Dr. Castberg [1].

Ich habe diese interessanten Erfahrungen Erman's ausführlich mitgetheilt, vorzüglich darum, weil sie auf wichtige Vorsichtsmafsregeln bei der Beobachtung der atmosphärischen Elektricität hinweisen, die nicht aus den Augen zu lassen sind, wenn nicht Unsicherheit und Irrthum sich in dieselben einmischen sollen. Ich selbst habe mit einem Volta'schen Apparate [2] zu regelmäfsige Resultate erhalten, als dafs ich einen Augenblick daran zweifeln könnte, dafs die so merklichen Anzeigen des Elektrometers von einem gewissen Gesetzen unterworfenen und nach diesen sich abändernden elektrischen Zustande der Atmosphäre selbst abhängen. Diese Anzeigen waren immer in dem Verhältnisse stärker, in welchem ich mich mit meinem elektroskopischen Apparate von dem Erdboden entfernte und denselben in der gröfseren Höhe, nachdem ich vorher durch ableitende Berührung den natürlichen Zustand hergestellt hatte, eine Zeitlang dem Einflusse der Atmosphäre unterwarf, stärker, wenn ich meine isolirte, mit einem Drahte versehene und durch diesen die Elektricität dem Elektrometer zuführende Stange zum Fenster des zweiten Stockwerks meines frei stehenden Hauses nach der Gartenseite, wo keine Häuser gegenüberstanden, hinaus steckte, als wenn ich sie im Garten selbst aufrichtete, noch stärker, wenn die Stange zum Fenster des oberen Speichers hinausragte, also gerade in dem Verhältnisse stärker, in welchem der sogenannte vertheilende Einflufs des Erdbodens schwächer werden mufste. Freilich war in allen Fällen nöthig, die Spitze des Drahtes mit einem brennenden Schwamme oder brennenden Schwefelfaden zu bewaffnen, wenn diese Anzeigen recht auffallend seyn sollten, wo dann aber auch das Goldblattelektrometer, ohne Mitwirkung des Condensators, eine nur an sehr warmen heitern Tagen des Sommers in den Mittagsstunden mehr fluctuirende, des Morgens und Abends mehr permanente Divergenz zeigte, so lange der Schwamm brannte, bei der Anwendung des Condensators dagegen auch sehr wenig empfindliche Strohhalmelektrometer bis zum Anschlagen afficirt wurden. Es scheint mir eine ganz gezwungene Analogie zu seyn, wenn Erman das Aufsteigen des

---

1 G. XVII. 483. XXII. 320.

2 Vergl. *Luftelektrometer*.

Rauchs mit dem Erheben des Elektrometers in der Luft für identisch hält. Die Wirkungsart, welche ein solcher brennender Körper in unsern gewöhnlichen elektrischen Versuchen so auffallend zeigt [1], liegt hier zu nahe, als daſs man sie nicht als die eigentliche Ursache der so auſserordentlichen Verstärkung des Erfolgs ansehen sollte. Aber gesetzt auch, man räumte ein, daſs die von ERMAN beobachteten Erscheinungen Wirkungen einer bloſsen Vertheilung des natürlichen Antheils der Elektricität und nicht der Mittheilung durch Einsaugung seyen, was unstreitig bei den meisten der von ihm erzählten Versuche der Fall war, so wird dadurch das wirkliche Daseyn einer wahren Luftelektricität und der Abhängigkeit derselben von jenem merkwürdigen Processe der Verdunstung und der rückgängigen Verdichtung der Dünste zu Wolken, Nebel, Regen, Hagel und Schnee nicht im geringsten gefährdet. Alles reducirt sich dann in der That nur auf die vertheilende Wirkung der von unten nach oben in ihrer elektrischen Spannung zunehmenden Luftschichten, wie auch VOLTA die Sache anzusehen scheint, der nach einer brieflichen Nachricht des Dr. CASTBERG [2] demselben zu erkennen gegeben hatte, daſs er schon längst ähnliche Versuche in Zimmern, deren Luft mit Elektricität geschwängert worden, angestellt und gleichfalls beim Erheben oder Herabbewegen des Elektrometers die nämlichen Erscheinungen wahrgenommen habe, wie sie ERMAN beschreibt. ERMAN selbst spricht nur ganz im Allgemeinen von einer vertheilenden Wirkung, welche hierbei vorzüglich der Erdboden, dann aber auch die Körper selbst auf einander ausüben sollen, läſst sich aber durchaus in keine nähere Construction des Vorganges ein, die doch durchaus nothwendig gewesen wäre, um sein Erklärungsprincip hinlänglich zu begründen. Da die Begriffe 0, + und — E offenbar nur relative sind, so ergiebt sich aus seinen Versuchen nur das mit Sicherheit, daſs die Luftschichten in einem andern elektrischen Zustande sich befinden, als der Erdboden selbst, und zwar so, daſs diese Verschiedenheit im Verhältnisse der Entfernung der Luftschichten vom Erdboden zunimmt. Aber eben diese Erscheinung ist es, was wir *atmosphärische Elektricität* nennen, und für die wir

---

1 Vergl. BONNYCASTLE über strahlende Elektricität in Schweigg. Journ. 1830. I, 192.

2 G. XIX. 453.

eine Ursache angeben müssen, und zwar eine solche, die in ihrer Wirkung im Laufe des Tages nach dem oben unter III. A. a. aufgestellten Gesetze, da die ganz nach Erman's Vorgange angestellten Versuche in den verschiedenen Tageszeiten ein eben so verschiedenes Resultat geben, als die Prüfung der Luftelektricität mit einen Volta'schen Apparate durch sogenannte Einsaugung, veränderlich ist. Nun läſst sich aber keine andere Erscheinung nachweisen, die einen übereinstimmendern Gang mit jenen Veränderungen zeigte, als eben der Vorgang der Verdunstung und der Verdichtung der Dünste in den verschiedenen Tageszeiten. Das Hauptphänomen aber, welches Erman beschrieben hat, läſst sich bei der Annahme, daſs die Luftschichten von unten nach oben an positiv-elektrischer Ladung zunehmen, auf folgende Weise erklären. Wenn der Zuleitungsdraht des Elektrometers, ehe man dasselbe schnell in die Höhe hebt, mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt wird, so setzt er sich mit diesem ins Gleichgewicht und nimmt seinen 0 elektrischen Zustand an. Durch die Atmosphären-Wirkung der positiven Elektricität der umgebenden Luftschichten kann aber in diesem Drahte ein Antheil — E gebunden enthalten seyn, der eben deswegen nicht auf die Goldblättchen wirkt und überall nicht nach auſsen thätig ist. Wird dann das Elektrometer schnell in die Höhe gehoben, so geht es aus einer weniger positiven Luftschicht in eine stärker positive über, es wird ein Antheil E vertheilt, negative Elektricität nach dem oberen Ende des Drahtes angezogen und gebunden, positive Elektricität nach dem unteren Ende zurückgetrieben, die als freie Elektricität, und zwar als positive, auf die Goldblättchen wirkt und sie aus einander treibt, und zwar in dem Verhältnisse stärker, in welchem das Elektrometer schneller und zu einer gröſseren Höhe gebracht wurde, weil alsdann die frei gewordene positive Elektricität um so weniger Zeit hat, sich zu zerstreuen, und auch eine gröſsere Quantität derselben in Freiheit gesetzt wird. Entladet man das Elektrometer in der Höhe, so bringt man es mit dem Erdboden ins Gleichgewicht, indem man das überschüssige + E ableitet, darum bleibt aber immer noch — E durch das + E der umgebenden Luftschichten gebunden. Bringt man das Elektrometer schnell aus der höheren Luftschicht abermals auf seinen vorigen tieferen Standpunct, so befindet es sich dann in einer weniger positiv elektrischen Luftschicht, deren + E demnach das — E nicht mehr so vollkom-

men bindet, von welchem daher ein Theil frei wird und auf die Goldblättchen wirkt. Diese müssen demnach mit negativer Elektricität divergiren. Einen entscheidenden Beweis für die Angemessenheit dieser Erklärung habe ich durch Elektrisirung der Luft in einem Zimmer erhalten. Ich versah den Leiter meiner sehr kräftigen Maschine mit einer Spitze an jedem Ende, die bis nahe an die Decke des Zimmers reichte, um die höheren Luftschichten in einem stärkeren Grade positiv zu elektrisiren, als die tieferen. Erhob ich dann schnell das Goldblattelektrometer, nachdem ich es ableitend berührt hatte, so divergirte es mit positiver Elektricität; berührte ich es auf seinem höheren Standpuncte abermals, um es auf 0 zurückzubringen, und bewegte es schnell abwärts, so divergirte es nun mit negativer Elektricität. Eben so läſst sich auch der Erfolg erklären, daſs zwei Elektrometer nach vorhergegangener Entfernung von einander in horizontaler Richtung, ableitender Berührung und darauf erfolgender Bewegung gegen einander mit negativer Elektricität divergiren. So lange die Elektrometer hinlänglich weit aus einander stehen, wird durch die positive Elektricität der umgebenden Luft von allen Seiten —E gebunden und +E frei gemacht, das durch die ableitende Berührung entladen wird. Nähern sich dann aber die Elektrometer einander, so nimmt die bindende Kraft des +E auf der innern Seite des Drahtes ab, in dem Verhältnisse, in welchem der Zwischenraum und die Ausdehnung der dazwischen befindlichen Luftschicht abnimmt, es muſs also allmälig ein Theil des gebundenen —E frei werden, und in dem Verhältnisse mehr, in welchem die Elektrometer einander mehr genähert werden; diese negativen Elektricitäten steigern sich wechselseitig, statt sich zu binden. Wird also durch Berührung des einen Elektrometers das —E des einen Drahtes abgeleitet, so muſs das —E des andern an Spannung um die Hälfte abnehmen, nämlich um so viel, als ihm gegenüberstehendes —E abgeleitet worden ist. Werden beide Drähte ableitend berührt, so hört alle negative Spannung in ihnen auf, werden sie aber dann von einander wieder entfernt, so muſs nothwendig eine neue Bindung von —E und ein Freiwerden von +E eintreten, in dem Verhältnisse, in welchem sich wieder die vertheilende Wirkung der positiven Luftschichten auf die innere Seite äuſsert, und die Elektrometer müssen anfangen mit positiver Elektricität zu divergiren, die bis zu einem Maximum zunimmt,

in dem Verhältnisse, in welchem sie von einander entfernt werden. Auf eine analoge Weise lassen sich alle übrigen Versuche Ehman's auf eine befriedigende Weise erklären durch die Annahme einer positiv-elektrischen Spannung der Luftschichten, die mit der Höhe zunimmt, wodurch diese Erfahrungen selbst vielmehr einen neuen Beweis für die Realität der atmosphärischen Elektricität abgeben und nur darthun, dafs manche Erscheinungen am Elektrometer vielmehr einer vertheilenden Einwirkung, als einer Mittheilung derselben zuzuschreiben sind.

Während sich Ehman blos auf skeptische Bemerkungen beschränkte, ging Prechtl viel weiter. Indem er die gangbare Theorie von der atmosphärischen Elektricität für ganz ungenügend ansah, erdachte er eine ganz neue Theorie der elektrischen Meteore, welche die herrschende Ansicht gleichsam auf den Kopf stellte, insofern sie gerade im Widerstreite damit die Elektricität von der Oberfläche nach der Höhe zu als abnehmend ansieht und auf eine sinnreiche Weise aus dieser einfachen Voraussetzung die mannichfaltig abgeänderten Erscheinungen der Elektricität ableitet. Prechtl nimmt, wie die meisten Physiker, ein feines, elastisches, dem Wärmestoffe ähnliches Fluidum als das wirkende in den elektrischen Phänomenen an. Jeder Körper, der einen Theil dieses Fluidums enthält, kann als das Centrum von elektrischen Ausflüssen betrachtet werden, ist daher stets von einem Nimbus oder einer Atmosphäre dieses Fluidums umgeben, und die Verschiedenheit der elektrischen Erscheinungen scheint von der verschiedenen Dichtigkeit und Dimension der elektrischen Atmosphäre, mit welcher ein Körper in Beziehung auf andere umgeben ist, abzuhängen. Eine solche elektrische Atmosphäre umgiebt, wie alle Körper, so auch die Erde selbst; ihre Dichtigkeit ist die gröfste unmittelbar über der Erdfläche und vermindert sich in genauem Verhältnisse der Entfernung vom Mittelpuncte. Man darf sich daher diese Atmosphäre in eine unendliche Menge concentrischer Lagen abgetheilt denken, von denen jede der Erde näher liegende stärker elektrisch ist, als die unmittelbar höhere. Den elektrischen Zustand der einzelnen Schichten nennt Prechtl *absolute Elektricität*, weil sie an und für sich unabhängig vom menschlichen Erkenntnifsvermögen existirend gedacht wird und für uns darum nicht erkennbar ist; *relative Elektricität* hingegen heifst die elektrische Einwirkung einer Schicht auf eine andere von

ihr entfernte, welche sich durch wirkliche elektrische Erscheinungen kund thut. So würde z. B. eine auf die Erde gestellte metallene Stange, indem sie die Elektricität des sie umgebenden Mittels annimmt, in ihrem Querdurchschnitte unzählig viele an einander liegende elektrische Spannungen haben, die sich von unten nach oben mit abnehmender Intensität folgten. Da diese Uebergänge der Elektricität in einander unmerklich sind, so sind sie eben auch absolut und an den verschiedenen Theilen der Stange nicht erkennbar. Würde man den obern Theil der Stange, welchem die Elektricität von geringerer Dichtigkeit zukommt, mit dem untern Theile der Stange, welcher in seiner Elektricität die gröfste Dichtigkeit hat, durch einen Körper in Verbindung bringen, welcher diese Elektricitäten der verschiedenen Schichten nicht annähme und doch leitend die an den beiden Enden befindlichen mit einander in Verbindung brächte, so würde hier ein Gegensatz zwischen diesen beiden Elektricitäten eintreten, oder die oberste würde in Bezug auf die unterste negativ erscheinen. Diese Elektricitäten würden daher aus ihrem absoluten Zustande gehoben und relativ erkennbar gemacht werden. Durch einen Versuch kann man aber nicht so, wie hier angenommen wird, die beiden Elektricitäten aus ihrem Zustande reifsen, da die Körper, welche man zur Verbindung der beiden entgegengesetzten Enden der Stange anwendet, selbst wieder in den gleichen absoluten elektrischen Zustand treten. Anders ist aber der Fall, wenn man statt der Stange eine Luftsäule setzt, deren einzelne Theile sich leicht trennen und die zugleich in trockenem Zustande nur wenig leitet. Bei ihr wird die absolute Elektricität erkennbar. Denn so oft eine Schicht Luft sich senkt, so wird sie zu jeder unmittelbar tieferen Schicht sich negativ verhalten und so ein Theil des elektrischen Erdnimbus sich darstellen, während umgekehrt, wenn eine Luftschicht sich erhebt, die Spannung positiv auftreten mufs. Hierbei ist angenommen, dafs diese Schichten während ihrer Bewegung weder Elektricität von den Luftschichten, durch welche sie hindurchgehen, annehmen, noch an sie abgeben, eine Voraussetzung, die nur für vollkommene Nichtleiter gilt, dergleichen auch trockene Luft nicht ist. Zerstreuen aber diese Luftschichten mehr oder weniger die Elektricität, wenn sie steigen, oder nehmen sie davon auf, wenn sie fallen, so wird die relative Elektricität, welche dabei erscheint, um so mehr ver-

mindert, je mehr diese Schichten leitender Natur sind. Da nun die Leitungskraft der Luft im verkehrten Verhältnisse ihrer Trockenheit steht, so muſs man unmittelbar folgenden Satz aufstellen: Jeder in der Atmosphäre niedersinkende Körper (oder eine Luftportion) erscheint negativ, jeder in derselben aufsteigende Körper positiv elektrisch, und zwar um so mehr, je trockener die Luft ist.

Eine unmittelbare Bestätigung dieses Fundamentalsatzes findet Prechtl in den oben angeführten Erman'schen Versuchen mit Elektrometern. Die Elektricität der Atmosphäre und der Wolken, die man bisher durch fliegende Drachen, Stangen, Elektrometer und ähnliche Instrumente zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Zuständen der Atmosphäre bald als positive, bald als negative erkannte, rührt dieser Theorie zufolge nicht von der freien Elektricität der Luftschichten her, in welche diese Instrumente hinaufreichten, sondern verdankt ihren Ursprung ganz allein dem elektrischen Zustande der untern Luftschichten, deren absolute Elektricität in geradem Verhältnisse der Entfernung von der Erde abnimmt. Auf- oder absteigende Luftströme und Winde, Dünste, Wolken, Regen, Schnee sind daher ein Mittel, die absolute Elektricität relativ und dadurch für Instrumente darstellbar zu machen.

Es würde uns zu weit führen, wenn wir in das Detail der Anwendungen dieses Princips zur Erklärung der einzelnen Modificationen der atmosphärischen Elektricität eingehen wollten. Wir können uns diese Mühe um so mehr ersparen, da sich in der Erfahrung selbst und den genau beobachteten Erscheinungen so auffallende Widersprüche mit dieser Theorie zeigen, daſs sie, wenn wir auch keine andere Erklärung an ihre Stelle setzen könnten, ohne Weiteres aufgegeben werden muſs. Diese Widersprüche hat schon vor längerer Zeit Configliachi sehr gut nachgewiesen[1]. Sie sind im Wesentlichen folgende.

1) Die Elektricität der Atmosphäre ist an heitern und warmen Tagen immer positiv, welches auch die Richtung und Neigung des Windes seyn mag; würde ein Wind von oben nach unten in schiefer Richtung blasen, so müſste nach Prechtl die Elektricität negativ seyn.

2) Die positive Elektricität heiterer Tage erreicht ihr Ma-

1 Schweigg. Journ. II. 69.

ximum gewöhnlich noch vor der Mittagsstunde und geht von da an wieder zurück. So wie aber einige Stunden nach Mittag die Temperatur die höchste und die Bewegung der erwärmten Luftsäulen von unten nach oben die gröſste ist, so müſste auch die positive elektrische Spannung erst in den Nachmittagsstunden ihre höchste Stärke erreichen, während sie dann sogar schon wieder abnimmt.

3) Alle Zeichen von Elektricität müſsten nach dem obigen Fundamentalsatze um so stärker seyn, je trockener die Luft und je wärmer sie wäre, aber dieses widerlegt die Erfahrung. Gerade wenn das Wetter neblicht und die Luft daher mit Wasserdünsten gesättigt ist, ist die elektrische Spannung stärker, so wie sie auch stärker an heitern Wintertagen ist, zu einer Zeit also, welche die Entstehung von aufsteigenden Luftströmen weit weniger begünstigt, als die heiteren Tage des Sommers thun.

4) Geht der Wasserdampf von dem unsichtbaren in den Bläschenzustand über, so erlangt er öfters ein specifisches Gewicht, welches das der Luft übertrifft; es entstehen Wolken, die nichts als eine Masse in der Luft hängender Bläschen sind, er steigt langsam herunter und erscheint so als Nebel. Nun giebt es aber keinen Zustand des Himmels (Gewitter ausgenommen), in welchem die elektrische Spannung gröſser und immer positiv wäre, als der Nebel, und dennoch sollte, nach Prechtl's Grundsätzen, die stärkste negative Elektricität eintreten.

5) Eben so widerspricht die starke positive Elektricität, die sich oft beim Eintritte eines Regens zeigt, der Theorie Prechtl's.

6) Auch stimmt die bedeutend stärkere positive Elektricität auf hohen, besonders mit ewigem Schnee bedeckten, Bergen, als an tiefern Orten, wenn man die Elektrometer gleichzeitig zu gleicher Höhe erhebt, mit den Grundsätzen dieser Theorie nicht überein.

Ganz neuerlich hat Becquerel die Erscheinungen der atmosphärischen Elektricität aus den Gesetzen der Thermoelektricität abzuleiten versucht[1].

Man denke sich, sagt er, für einen Augenblick einen Theil der Atmosphäre durchaus in Ruhe und überall von gleicher Temperatur; das Gleichgewicht seiner Elektricität wird dann nicht

1 Poggendorff's Ann. XVII. 553.

gestört seyn. Wenn aber durch irgend einen Umstand ein kälterer Luftstrom in diesen Theil eindringt, so wird derselbe abgekühlt werden und negative Elektricität annehmen, während jener positive Elektricität bekommt. Da vermöge der Geschwindigkeit des Stroms der Contact der Theilchen nur von kurzer Dauer ist, so wird ein jedes von ihnen etwas von der Elektricität behalten, die sich während der Temperaturveränderung entwickelt. Wenn Wasserdämpfe in den erkalteten Portionen enthalten sind, so verdichten sich diese, bemächtigen sich der Elektricität und bilden eine mit negativer Elektricität beladene Wolke. Im Falle, daſs die kalte Luft ebenfalls Dämpfe enthält, entsteht eine Wolke mit positiver Elektricität. Die positive Elektricität der Luft bei kaltem und heiterm Wetter läſst sich daraus begreifen, daſs die kalte Luft, welche mit der Erde in Berührung ist, nachdem sie sich auf deren Kosten erwärmt hat, vermöge des geringeren specifischen Gewichts in die Höhe steigt und die positive Elektricität mit hinwegnimmt, die sie während ihrer Erwärmung angenommen hat.

Der Umstand, daſs bei lange fortdauerndem warmen und heitern Wetter im Sommer, wenn die Erde und die Luft endlich auf eine Gleichheit der Temperatur kommen, die Luftelektricität stets mehr abnimmt, wie ich dieses jetzt eben (1830) in den letzten 8 Tagen des Julius und den ersten Tagen des Augusts beobachtet habe, die ununterbrochen vollkommen heiter mit östlichem Winde waren und an denen die Temperatur stufenweise so zunahm, daſs sie in den letzten Tagen auf + 23 und 24° R. um 2 Uhr Nachmittags stieg, scheint für diesen Antheil der Wärmeverschiedenheit an Erzeugung der atmosphärischen Elektricität zu sprechen. Ueberhaupt wird nur dann erst die Theorie dieser Erscheinungen vollständig gegeben werden können, wenn wir unter den verschiedensten Breiten jenseit der Polarkreise wie in den tropischen Gegenden mehrjährige Beobachtungen über die atmosphärische Elektricität angestellt haben werden, die bis jetzt noch gänzlich fehlen.

V. Wirkungen der Luftelektricität.

Ueber die Wirkungen der Luftelektricität auf die ganze Oekonomie der Natur, insbesondere auf die organische Schöpfung, das Gedeihen und das Wachsthum der Pflanzen und die

Gesundheit der Thiere können wir auf dem gegenwärtigen Standpuncte unserer Erfahrungen nur sehr unsichere Muthmaſsungen aufstellen.

„Im Frühlinge", sagt Gehler [1], „wenn sich die Vegetation „erneuert, erscheinen auch von Zeit zu Zeit elektrische Wol„ken, welche Regen ausgieſsen. Die Elektricität der Wolken „und des Regens nimmt zu bis in die Zeit des Herbstes, in wel„cher die letzten Früchte eingesammelt werden. Die elektri„sche Materie scheint die Triebfeder zu seyn, welche die „Dünste sammelt, die Wolken bildet und dann wieder ge„braucht wird, sie zu zerstören und in Regen aufzulösen. „Die Erfahrung lehrt auch, daſs kein Begieſsen so fruchtbar „sey, als der Regen; besonders derjenige, welcher die Gewit„ter begleitet." Indessen wird diese Wirkungsart der atmosphärischen Elektricität von Gehler selbst durch die Bemerkung wieder entkräftet, daſs man zwar aus Versuchen mit künstlicher Elektricität geschlossen habe, daſs die positive Elektricität die Vegetation befördere, daſs aber Ingenhousz [2] und Schwankhard [3] durch sehr sorgfältige Versuche keinen Einfluſs der künstlichen Elektricität auf das Wachsen der Pflanzen haben entdecken können. Saussüre meint, daſs die Gipfel der Bäume, die Spitzen der Blätter, die Bärte der Aehren die atmosphärische Elektricität anziehen und sie gleichsam zwingen, durch die Gewächse zu flieſsen, die sie ohne Zweifel belebe und durch ihren Einfluſs vielleicht die wirksamsten und schmackhaftesten Bestandtheile hervorbringe, worin dann auch der Grund zu suchen sey, daſs diejenigen Pflanzen, welche auf nackten und steilen Felsen wachsen, an Saft und Arzneikräften alle diejenigen von gleicher Beschaffenheit, die auf ebenem und niedrigem Boden erzeugt sind, so sehr übertreffen, weil nämlich auf diesen isolirten Gipfeln die Wirksamkeit der Elektricität so viel stärker sey. Indeſs läſst sich dieser Vorzug schon befriedigend aus der stärkeren und dauerndern Einwirkung der Sonne auf diese viel weniger beschatteten Pflanzen ableiten, um so mehr, da dieser Einfluſs des Sonnenlichtes es vorzüglich ist, welcher die Aushauchung des Sauerstoffgases bedingt und damit die Ausbildung

1 Physik. Wörterbuch. Aelt. Ausg. III. 35.
2 Rozier Observations sur la physique. 1788. Mai.
3 Lichtenberg Mag. Th. V. H. I. S. 161.

der mehr brennbaren Bestandtheile, der ätherischen Oele, der Harze u. s. m., von welchen vorzüglich die gröfsere Wirksamkeit, der kräftigere Geruch und Geschmack der Gebirgspflanzen abhängt, befördert.

So wenig sich mit Sicherheit bestimmen läfst, welchen Einflufs die atmosphärische Elektricität auf die Vegetation habe, eben so wenig läfst sich auch auf dem jetzigen Standpuncte unserer Erfahrungen etwas über den Einflufs derselben auf die Gesundheit der Menschen und Thiere und namentlich über den Antheil entscheiden, den etwa die atmosphärische Elektricität durch ihre gröfsere Anhäufung oder vielleicht noch mehr durch ihren fortdauernden Mangel oder durch längeres Auftreten von negativer Elektricität an der Entstehung epidemischer Krankheiten haben könnte, und alles was Bertholon de St. Lazare [1] hierüber aufgestellt hat, ist blofse Speculation, für welche keine bestimmten Thatsachen sprechen [2]. P.

Luftelektrometer.

Atmosphärisches Elektrometer; *Electrometrum aëreum seu atmosphaericum;* Electromètre aërien ou atmosphérique. Eine Veranstaltung, wodurch sich die Stärke und Beschaffenheit der Luftelektricität bestimmen läfst. Wir haben schon im vorangegangenen Artikel, unter der 2ten Hauptnummer desselben, die Methode und Vorrichtungen im Allgemeinen kennen gelehrt, deren sich verschiedene Physi-

1 Anwendung und Wirksamkeit der Elektricität zur Erhaltung und Wiederherstellung der Gesundheit des menschlichen Körpers. Aus dem Französischen, mit neuen Erfahrungen bereichert von Dr. C. G. Kühn. Leipz. 1788.

2 Priestley's Geschichte der Elektricität, übers. durch Krünitz. S. 208 u. ff. Cavallo's vollständige Abhandlung von der Elektricität. 4te Ausgabe. Leipz. 1797. Bd. I. S. 348. Siebenter Brief des Hrn. de Lüc an Herrn de la Metherie über die Schwierigkeiten in der Meteorologie u. s. w. Aus dem Journal de Physique, Août 1790, übers. in Gren's Journal der Physik. Bd. IV. S. 234 u. f. Versuche u. Beobachtungen über die Elektricität und Wärme der Atmosphäre, angestellt im J. 1792, nebst der Theorie der Luftelektricität nach den Grundsätzen des Herrn de Lüc, von W. A. E. Lampadius. Berlin und Stettin 1793. 8. Cap. 3 und 4.

ker bedienten, um mit Bequemlichkeit die atmosphärische Elektricität und ihre Veränderungen zu prüfen. Hier bleibt uns also nur noch übrig, einige vorzüglich dazu geeignete Veranstaltungen genauer auzugeben.

Cavallo[1] beschreibt ein sehr einfaches Werkzeug dieser Art. AB ist eine gemeine, aus mehreren Gliedern bestehende Angelruthe, von der jedoch das letzte dünnste Glied fehlt. Am Ende B steckt eine dünne, mit Siegellack überzogene Glasröhre C, und an dieser ein Stück Kork D, von welchem ein Elektrometer E mit Hollundermarkkügelchen herabhängt. HGI ist ein langer Bindfaden, welcher bei A befestigt und bei G von einem Schnürchen FG gehalten wird. An sein Ende I ist eine Stecknadel befestigt, und wenn man diese in den Kork D einsteckt, so ist das Elektrometer E unisolirt. Will man mit diesem Instrumente die Elektricität der Atmosphäre beobachten, so hält man den Stab zu einem Fenster hinaus einige Secunden lang so in die Luft, dafs er mit dem Horizonte einen Winkel von 50 bis 60 Graden macht, dann zieht man an dem Bindfaden bei H und macht dadurch die Stecknadel von dem Korke D los, wodurch der Bindfaden in die punctirte Lage KI' fällt, das Elektrometer aber isolirt und auf die der Elektricität der Atmosphäre entgegengesetzte Art elektrisirt bleibt. Hierauf wird das Instrument zurückgezogen, worauf die vorher unter dem Einflusse der atmosphärischen Elektricität noch gebunden gebliebene Elektricität frei wird, die Kügelchen divergiren macht und deren Beschaffenheit dann durch die bekannten Mittel untersucht wird[2].

Fig. 51.

Achard[3] hat eine Vorrichtung angegeben, die aber nichts so Eigenthümliches hat, um eine genauere Beschreibung hier zu verdienen. Dagegen verdient Saussüre's Veranstaltung hier eine besondere Erwähnung, weil die von diesem unermüdeten Naturforscher damit angestellten Beobachtungen zu den wichtigsten für diese ganze Lehre gehören. Saussüre's Elektrometer, womit er seine Beobachtungen über atmosphärische Elektricität angestellt hat, ist dem von Cavallo[4] ähnlich. A ist der Haken desselben. Die gläserne Glocke BCD ist oben durch-

Fig. 52.

1 Vollständige Abhandlung von der Elektricität. Th. I. S. 343.
2 S. *Elektrometer.*
3 Mém. de l'Acad. de Prusse. 1780.
4 Vergl. *Elektrometer.* Bd. III. S. 654.

bohrt, um den Metallstift D durchzulassen, der eine Fortsetzung des Hakens ausmacht und an den Silberfäden Eg, Eg, die etwas länger als im Cavallo'schen Elektrometer und mittelst kleiner Ringe aufgehangen sind, um eine gröfsere Beweglichkeit des Elektrometers zu bewirken, die Hollundermarkkügelchen gg von einer halben Linie oder etwas darüber im Durchmesser trägt. BC ist der an den untern Rand der Glocke gekittete metallene Boden, hhhh sind statt zweier, wie sie Cavallo's Elektrometer hat, 4 Stanniolstreifen, welche in- und auswendig an der Glocke angebracht sind, durch welche die dem Innern der Glockenwand sich mittheilende Elektricität vollkommen abgeleitet werden kann. Der wichtigste Zusatz ist aber eine durch eine lange Schnur mit dem Elektrometer verbundene Kugel, um die atmosphärische Elektricität, die in den höhern Luftschichten stärker ist, leichter bemerklich machen zu können. Das untere Ende dieser 50 bis 60 Fufs langen Schnur aus drei feinen Silberfäden ist um den Haken des Elektrometers geschlungen und an demselben durch den schwachen Druck seiner eigenen Spannkraft festgehalten. Beim Fortschleudern der Kugel wickelt sich dieser Draht auf und theilt dem Elektroskope die Elektricität der höchsten Luftschicht mit, bis zu welcher sich die Kugel erhoben hat. Durch die weitere Fortbewegung der Kugel wird aber der Draht ganz abgewickelt, er löst sich vom Stiele des Elektroskops und dieses bleibt isolirt mit der Elektricität, die es erhalten hat, zurück. Die Kugel M wird als in die Luft fliegend vorgestellt, MR ist die metallene Schnur und R die Schleife oder Zwinge, welche sich zuletzt aus einander giebt, MP ist eine starke seidene Schnur, fest an die Kugel gebunden, damit man die letztere bequem in die Höhe schleudern könne. Wenn es regnet oder schneit, so schraubt man über den Haken des Elektrometers einen kleinen, aus dünnem Messingblech gemachten, kegelförmigen, vier und einen halben Zoll im Durchmesser haltenden Hut oder Regenschirm, auf welchen man einen zugespitzten Leiter aufschraubt, während man das Elektrometer unten am metallenen Boden fafst. Dieser Leiter von 15 Zoll kann auch unmittelbar auf den Haken geschraubt werden, und um einen noch längern anzuwenden, verfertigt man ihn aus drei Stücken, jedes von 8 Zoll Länge und zum Zusammenschrauben eingerichtet, so dafs seine ganze Länge 2 Fufs beträgt, die Saussüre vollkom-

men hinreichend fand, um einen ganz befriedigenden Erfolg zu erhalten.

Die Methode, nach welcher SAUSSÜRE seine Beobachtnngen anstellte, ist folgende. Er untersuchte zuerst die Höhe, in welche er das Elektrometer halten mufste, wenn es die ersten Spuren von Elektricität zeigen sollte. Nahe an der Erdfläche bemerkt man dergleichen Spuren selten oder gar nicht [1], weil die Luft doch in einigem Grade leitend ist und sich daher mit der sie berührenden Erdfläche bis auf einige Weite ins Gleichgewicht setzt. Gewöhnlich fand SAUSSÜRE die Höhe, wo man eben anfing, einen merklichen Unterschied zwischen Luft- und Erd-Elektricität wahrzunehmen, 4—5 Fufs, bisweilen so hoch, als er mit der Hand zu reichen vermochte, also 7—8 Fufs; manchmal, wiewohl selten, war auch eine gröfsere Höhe erforderlich, dagegen zeigte zu anderer Zeit das Instrument schon Elektricität, wenn es gleich, selbst ohne aufgeschraubten Leiter, auf der blofsen Erde stand.

Inzwischen hat diese Vorrichtung noch lange nicht die gehörige Empfindlichkeit, um selbst die schwächsten Grade von Luftelektricität und die stufenweisen Veränderungen derselben in ihren kleinsten Wechseln zu beobachten. Erst dem Erfindungsgeiste VOLTA's verdanken wir diese Vervollkommnung. Sie besteht im Wesentlichen darin, dafs er zu der Spitze einen brennenden Schwefelfaden oder brennenden Zündschwamm hinzufügte, wodurch die Empfindlichkeit des Instruments ganz aufserordentlich gesteigert worden ist. Es lassen sich hiernach zwei Apparate construiren, deren einer feststehend und zu Beobachtungen an einem bleibenden Orte bestimmt ist, der andere aber tragbar, um an jedem beliebigen Orte Beobachtungen anzustellen. Ich selbst habe mich mit dem besten Erfolge zur Untersuchung der atmosphärischen Elektricität einer nur in einigen Stücken von der durch VOLTA [2] gebrauchten abweichenden Vorrichtung bedient. A ist eine starke, auf drei Füfsen ruhende, wohl überfirnifste Glassäule, oben in eine wohl überfirnifste hölzerne Kugel B eingelassen, die sich in einen Zapfen C endigt. Auf diesen Zapfen pafst die überfirnifste hölzerne, wohl abgedrehte Scheibe D, mit welcher durch ein Charnier X die eigentliche

Fig. 53.

1 Vergl. *Luftelektricität.*

2 Dessen meteorol. Briefe. S. 124 bis 126.

Wetterstange EF verbunden ist. Dieses Charnier gewährt den Vortheil, dafs man die Stange EF entweder horizontal, oder in jeder beliebigen Neigung gegen den Horizont und selbst in senkrechter Richtung in der Luft erhalten kann, indem man zwischen die Scheibe D und die Wetterstange Klötze von verschiedener Dicke schiebt. Bei einer Stange von 12 Fufs, wie diejenige ist, deren ich mich gewöhnlich bediene, kann man daher mit der gröfsten Schnelligkeit die Abänderungen der Elektricität innerhalb einer Lufthöhe von 12 Fufs untersuchen. Die Wetterstange selbst ist, um sie tragbarer zu machen, aus mehreren Stücken zusammengesetzt, von denen die oberen etwas verjüngt sind, und in das letzte Stück können noch Spitzen von verschiedener Länge, auch vielspitzige Einsauger eingesteckt werden. Längs der Wetterstange führt ein messingener Draht herab, der aus eben so vielen Stücken, wie diese selbst, besteht, die sich leicht mit einander verbinden lassen. Man kann diesen Apparat entweder im Freien aufstellen, oder in jeder Etage des Hauses die Stange zum Fenster hinausragen lassen, und zwar in jeder beliebigen Neigung bis beinahe zur senkrechten Richtung, da sich das isolirende Gestell ganz dicht an das Fenster rücken läfst. Um mit gröfserer Bequemlichkeit den Schwamm oder Schwefelfaden auf die obere Spitze aufzustecken, kann man das oberste Stück der Wetterstange erst herabnehmen. Ein isolirter Messingdraht führt die Elektricität des Drahtes an der Wetterstange zu einem beliebigen Elektrometer mit oder ohne Condensator, zu einer Leidner Flasche u. s. w. Bei starker Luftelektricität kurz vor, während oder nach einem Gewitter, vor einem Regen oder während desselben, so wie bei Schneegestöber, Hagel u. s. w. hat man den brennenden Schwamm nicht nöthig, sondern die blofse Spitze ist hinreichend, um wenig empfindliche Elektrometer mit gröfseren Kork- und Hollundermarkkugeln in die gröfste Divergenz zu versetzen und zum Anschlagen zu bringen. Bei schwächerer Luftelektricität an einem heitern und warmen Sommertage ist jedoch selbst bei der Anwendung eines Goldblattelektrometers der brennende Schwamm oder Schwefelfaden erforderlich, um einen merklichen Ausschlag zu erhalten. Es ist in der That bewunderungswürdig, in welchem Grade durch die Anwendung eines solchen brennenden Körpers die Anzeigen verstärkt werden. Wenn bei Anwendung einer sehr feinen Spitze oder eines vielspitzigen Einsaugers selbst mit

Hülfe eines sehr guten Condensators keine Spur von Elektricität zu erkennen ist, so divergiren die Goldblättchen sogleich um einen Zoll und darüber, sobald man die Spitze mit brennendem Schwamme bewaffnet. Dafs jedoch dieser an und für sich keinesweges die Quelle der Elektricität sey, davon überzeugt man sich sehr leicht, indem man damit auch nicht die geringste Spur von Elektricität erhält, auch wenn man den Versuch in einem sehr hohen Zimmer anstellt. Wenn der Regen die Anwendung des Schwammes oder Schwefelfadens verbietet, so kann man sich auch einer kleinen Laterne mit einem brennenden Lichte nach Volta's Rathe bedienen, die man auf beliebige Weise an der oberen Spitze befestigt. Ein Hauptvortheil bei dieser Vorrichtung ist, dafs die Isolirung durch Regen, Feuchtigkeit u. s. w. nicht im geringsten gefährdet wird, da die Glassäule innerhalb des Zimmers sich befindet. Statt den Zuleitungsdraht auf die Kappe des Elektrometers aufzuschrauben, befestigt Volta denselben beim tragbaren Apparate am Ende seines Spatzierstockes, so dafs er völlig isolirt ist, was er durch ein zwei bis drei Zolle langes gläsernes Stäbchen, welches mit Siegellack überzogen ist, erreicht. Dieser dichte Glascylinder hat an dem einen Ende eine konische Röhre von Messing, in welche das Ende des Stocks pafst, an dem andern Ende aber eine Kappe, gleichfalls von Messing, auf welche der stählerne Leiter geschraubt wird. Eine mit Silberdraht durchzogene Schnur, die dadurch zum Leiter wird, befestigt man mit einem Knoten an dem Stahldrahte und läfst sie so weit herunter hängen, dafs, wenn man den Stock mit der einen Hand in die Höhe hebt, das untere Ende der Schnur, welches sich in eine Schleife oder einen Ring endigt, an den Haken einer kleinen Leidner Flasche oder an die gleichfalls mit einem Haken versehene Kappe eines Flaschenelektrometers, das man mit der andern Hand in gleicher Höhe mit den Augen und in hinlänglicher Entfernung von dem Stocke hält, nach Willkür gehängt und wieder los gemacht werden kann. Die Zeichnung stellt den ganzen Apparat dar, während dafs eine Person die Luftelektricität mit demselben auf dem Felde, in einem Garten u. s. w. untersucht. AB ist der Spazierstock, dessen Knopf von der rechten Hand umfafst wird, C die messingne konische Röhre, in welche die Spitze des Stockes gesteckt ist, D die mit Siegellack überzogene gläserne Säule, E die messingene Kappe, an welche der Stahldraht FG geschraubt ist, auf

Fig. 54.

dessen Spitze G der Schwefelfaden vermittelst eines spiralförmig gedrehten Eisendrahtes oder auf andere Art befestigt wird. Endlich HI ist die mit Metalldraht durchflochtene Schnur, die in I mit dem Elektrometer K, welches mit der linken Hand gehalten wird, verbunden ist.

Man sieht leicht, daſs der ganze Apparat aus einander genommen und, mit Ausnahme des Stockes, in ein Taschenfutteral nebst dem Feuerzeuge, einer Menge Schwefelfäden und einem gläsernen Stäbchen, das halb bloſs, halb mit Siegellack überzogen ist und zur Untersuchung der Art der Elektricität dient, eingeschlossen werden kann.

Als stehendes Luftelektrometer oder sogenannte Franklin'sche Wetterstange ist die von John Read angewandte Vorrichtung[1] sehr zweckmäſsig eingerichtet. An das untere Ende einer 20 Fuſs langen, unten zwei Zoll und oben einen Zoll im Durchmesser haltenden Stange von Tannenholz ist eine gläserne Säule von 22 Zoll Länge gekittet. Diese Glassäule steht in dem Loche eines hölzernen Fuſses und dieser steckt an dem Vordertheile eines eisernen Armes, der in die Mauer eingeschlagen ist und das Ganze trägt. Etwa 13 Fuſs über dem eisernen Arme ist noch ein hölzerner Arm in die Mauer befestigt, der eine starke Glasröhre senkrecht hält, durch welche die Stange beim Aufrichten des Apparats langsam hindurch geschoben wird, bis die unten befindliche Glassäule in die für sie passende Höhlung des hölzernen Fuſses hineingelassen werden kann. In dieser Lage wird sie festgehalten und steht 12 Zoll weit von der Mauer ab. In die Glasröhre ist an der Stelle, wo sie vom hölzernen Arme gehalten wird, ein Korkfutter befestigt, damit die Stange, wenn sie vom Winde gebogen wird, die Röhre nicht berühren und zerbrechen kann. Das obere Ende der Stange ist mit mehreren scharf zugespitzten Drähten versehen. Zwei davon sind von Kupfer, jeder $\frac{1}{4}$ Zoll dick; diese werden um die Stange herumgeflochten und reichen bis an die messingne Zwinge eines zinnenen Trichters, der den untern Glasfuſs der Stange vor dem Regen schützt. Sie sind an diese Zwinge angelöthet, um ihre Berührung desto vollkommner zu machen. Ein ähnlicher Trichter schützt auch die obere Glasröhre und beide Gläser

1 Phil. Trans. 1791. T. LXXXI. p. 185. Daraus in Gren's Journ. Th. VI. S. 234.

sind der bessern Isolirung halber mit Siegellack überzogen. In einer schicklichen Höhe vom Boden des Zimmers ist ein Loch durch die Wand gebohrt, worin eine mit Siegellack überzogene Glasröhre steckt. Durch diese geht von der Stange ins Zimmer ein starker Messingdraht, der gleich am Ende der Glasröhre durch eine zweizöllige messingne Kugel tritt und hinter derselben noch etwas weiter fortgeht. An seinem Ende ist ein Korkkugelelektrometer aufgehängt, so dafs es etwa 12 Zoll von der Wand absteht. An der Aufsenseite der Wand ist eine hölzerne Büchse angebracht, um das Ende der Glasröhre trocken zu erhalten. Zwei Zoll weit von der messingnen Kugel ist eine Glocke. Diese wird von einem starken Drahte getragen, der auch durch ein Loch in der Mauer geht und durch eine gute metallische Leitung in Verbindung mit dem feuchten Boden am Hause steht. Zwischen der Glocke und der Kugel ist noch ein messingnes Kügelchen von 0,3 Zoll im Durchmesser an einem seidenen Faden aufgehängt. Dieses Kügelchen dient zum Klöppel zwischen der Glocke und der Kugel, wenn die elektrische Ladung der Stange hinreichend stark ist. Unter der Glocke und Kugel steht an der Wand ein Tisch, um eine Leidner Flasche und andere Gegenstände darauf zu stellen. Die ganze senkrechte Höhe von der feuchten Erde bis zu der oberen Spitze am Ende der Stange ist 52 Fufs.

Man übersieht leicht, dafs dieser Apparat eingerichtet ist, die verschiedenen Grade der Luftelektricität durch das Elektrometer und Glockenspiel anzuzeigen und zugleich die nachtheiligen Wirkungen zu vermeiden, welche Gewitter oder überhaupt allzustarke Ladungen hervorbringen könnten. Ungeachtet aller Vorsicht, womit Read für eine gute Isolirung gesorgt hatte, wurde dennoch bei feuchtem Wetter der Apparat so unvollkommen, dafs er genöthigt war, im September 1790 die Stellung der Stange zu ändern und alle isolirende Theile ganz unter die Dachung des Hauses zu bringen, und zugleich erhöhte er die Stange noch um 9 Fufs, so dafs die oberste Spitze 61 Fufs Höhe über der feuchten Erde bekam. Er bemerkt noch, dafs er in dem untern, nicht isolirten Theile des Apparats, welcher die Leitung nach der feuchten Erde machte, stets die entgegengesetzte Elektricität von derjenigen gefunden habe, welche in dem oberen isolirten Theile, woran die Korkkügelchen hingen, vorhanden war. Uebrigens hat der oben beschriebene Volta'sche

Apparat entschiedene Vorzüge vor jeder solchen Wetterstange wegen seiner Einfachheit, Wohlfeilheit und der Vollkommenheit der Isolirung, die er zuläſst [1]. *P.*

Luftelektrophor.

Dieser Name bezeichnet eigentlich ein aus Luft gebildetes Elektrophor, bei dessen Construction die Luft auf gleiche Weise die Stelle eines idioelektrischen Körpers vertreten müſste, als dieses bei der Flasche der Fall ist [2], wenn es anders möglich wäre, Luft bleibend zwischen die beiden leitenden Flächen des Elektrophors einzuschlieſsen. Statt dessen hat J. Weber [3] einem Apparate diesen Namen gegeben, welcher sich zugleich als Elektrophor und als Elektrisirmaschine gebrauchen läſst, seit der wesentlichen Verbesserung aller physikalischen Geräthschaften aber wenig beachtet und kaum überhaupt bekannt ist. Man spannt nämlich trockne Glanzleinwand, wollenes Zeug, gemeine Leinwand, Papier, abgetragenes Leder oder dergleichen in einen hölzernen Rahmen aus, erwärmt dieses und reibt die Fläche mit einem gleichfalls erwärmten Hasen- oder Katzen-Felle, wodurch beträchtliche Elektricität erzeugt wird. Am besten befestigt man den Rahmen auf einem Fuſsgestelle, um ihn wie einen Ofenschirm gegen den Ofen oder gegen die Sonne zu stellen, damit durch die stärkere Erwärmung die elektrische Spannung erhöht werde. Hinter dem Gestelle wird auf ein kleines Tischchen eine gläserne Flasche gestellt, in welche ein umgebogenes metallenes Rohr gekittet ist, dessen Ende eine gegen die hintere Fläche des Elektrophors gerichtete metallene Quaste

---

1 Voyage dans les Alpes par Hor. Ben. de Saussüre. Bd. III. 1786. 4. Ins Deutsche übers. Leipzig 1787. Cap. 28. S. 231. Alex. Volta meteorologische Briefe aus dem Ital. mit Anm. des Herausgebers. Leipzig 1793. 8. 3ter und 4ter Brief. Versuche und Beobachtungen über die Elektricität und Wärme u. s. w. Von W. A. E. Lampadius. Berlin und Stettin 1793. 8. Cap. I. Meteorologische Hefte von Dr. Carl Constantin Haberle. Erster Bd. Weimar 1810. IIItes Stück: Beschreibung des Volta'schen Apparats zur Beobachtung der Luftelektricität.

2 Vergl. *Flasche.* Bd. IV, S. 365.

3 Neue philos. Abh. der Churbaierschen Acad. d. Wiss. Th. I. Jos. Weber's Abh. von dem Luftelektrophor. 2te Aufl. Ulm 1779. 8.

trägt. Wird dann der eingespannte Körper an der anderen Seite gerieben, so theilt er die hierdurch erregte Elektricität den Fäden und dem Rohre mit, wirkt also als Elektrisirmaschine, und zwar mit einer die Erwartungen übertreffenden Stärke, wenn die Bedingungen, nämlich starke Erwärmung und vorzügliche Trokkenheit, nicht fehlen.

Der Rahmen allein, ohne das Gestell, dient als Elektrophor. Man legt ihn horizontal und unterstützt ihn so, dafs der eingespannte Körper blofs von der Luft berührt wird. Ist derselbe dann durch Reiben (negativ) elektrisch geworden, so erhält eine darauf gesetzte, berührte und wieder aufgehobene Trommel im Wirkungskreise desselben die entgegengesetzte (positive) Elektricität. Würde auch die untere Fläche durch einen leitenden Körper berührt, so könnte die Elektricität wegen zu geringer Dicke des Körpers nicht frei seyn. Namentlich zeigt sich Glanzleinwand unter dieser Bedingung völlig unthätig, klebt nach dem Reiben an der Wand des Zimmers fest, zeigt aber nach dem Losreifsen von derselben ein vorzüglich schönes Licht. Diese Erscheinungen rechtfertigen den Namen, welchen Weber diesem Apparate gegeben hat. *M.*

Luftpumpe.

Verdünnungspumpe, Exantlirungspumpe; *Antlia pneumatica;* Machine pneumatique; *Air-Pump.*

Die Luftpumpe ist ein für so viele physikalische, chemische und technische Operationen so unentbehrliches Werkzeug, dafs man aus ihrem vielfachen Gebrauche sich leicht sowohl das Aufsehen erklären kann, welches gleich anfangs ihre Erfindung und erste Anwendung erregte, als auch das nachherige unablässige Bestreben, den Mechanismus derselben zu vervollkommnen. Eben diese grofse Wichtigkeit der Luftpumpe für so mannigfache Zwecke fordert hier eine genaue Erläuterung des Wesens derselben und der Leistungen, welche sie gewährt, nicht minder aber eine möglichst vollständige Angabe der verschiedenen vorgeschlagenen Constructionen nebst einer Prüfung ihrer gröfseren oder geringeren Zweckmäfsigkeit, um in jedem Falle gerade diejenige zu wählen, wodurch die beabsichtigten Zwecke am

besten erreicht werden, und um nicht Einrichtungen derselben für neu zu halten, welche unlängst versucht und durch bessere verdrängt worden sind. Die erste dieser Aufgaben, nämlich eine allgemeine Bestimmung desjenigen, was eine Luftpumpe leisten soll, und der wesentlichen Mittel, wodurch jene Leistungen erhalten werden, ist höchst einfach, die Menge der deswegen gemachten Vorschläge, selbst wenn man sich nur auf die wirklich ausgeführten beschränkt, ist aber so zahlreich, dafs eine vollständige Aufzählung aller, wenn gleich möglich, doch auf alle Fälle höchst ermüdend und selbst unnütz seyn würde. Aus diesem Grunde werde ich mich auf die vorzüglicheren beschränken und bei ähnlichen nur das Unterscheidende anführen, die unbedeutenden aber entweder ganz übergehen, oder mit Angabe der Quellen kurz namhaft machen. Weil ich mich jedoch viel mit diesem Gegenstande beschäftigt habe, so halte ich es nicht für zweckwidrig, auch dasjenige näher anzugeben, was sich auf die Fabrication derselben im Ganzen und hauptsächlich der einzelnen Theile bezieht, um manche nicht hinlänglich erfahrene Künstler zu belehren oder den Physikern, in deren Nähe keine geübten Mechaniker anwesend sind, die Mittel an die Hand zu geben, die Verfertigung derselben selbst zu leiten. Weil endlich die wesentlichen Verbesserungen derselben nach und nach aufgefunden worden sind, so scheint es mir am zweckmäfsigsten, die Darstellung des Ganzen geschichtlich zu ordnen oder mindestens auf die Zeitfolge der verbesserten Constructionen Rücksicht zu nehmen.

Im Allgemeinen heifsen Luftpumpen solche Apparate, bei denen aus irgend einem für die äufsere Luft undurchdringlichen Gefäfse die darin vorhandene Luft weggenommen wird, damit in dieses die in einem andern gleichfalls luftdichten Gefäfse, worin sich zugleich die zu untersuchenden Körper befinden, vorhandene Luft einströme und somit verdünnt werde. Durch vielfache Wiederholung dieser Operation läfst sich die im letzteren Gefäfse vorhandene Luft auf ein Minimum, folglich die Luftverdünnung auf ein Maximum bringen, eine Wegschaffung aller Luft, also die Herstellung eines absolut leeren Raumes, ist aber durch dieses Verfahren der fortgesetzten Theilung einer gegebenen Menge der Natur der Sache nach unmöglich und das Maximum der Verdünnung wird aufserdem durch verschiedene anderweitige Umstände bedingt. Die Wegnahme der

Luft aus dem ersten Gefäfse geschieht entweder durch Flüssigkeiten, welche man hineinfüllt und dann ohne Zutritt der äufseren Luft auslaufen läfst, oder durch einen Embolus, den man zurückzieht, ohne dafs die Luft neben ihm in den verlassenen Raum dringen kann, oder durch Wasserdämpfe, womit man dasselbe füllt, welche dann die vorhandene Luft austreiben und bei ihrer Verwandlung in eine tropfbare Flüssigkeit einen mit wenigem Dampfe angefüllten luftleeren Raum zurück lassen, oder endlich durch Absorption der Luft vermittelst solcher Körper, welche dieselbe in grofser Menge aufnehmen, namentlich der glühenden Kohlen, deren Wirkung noch obendrein durch Ausdehnung der Luft vermöge der Erhitzung vermehrt wird.

Aeltere Luftpumpen bis Smeaton.

Als Evangelista Torricelli durch die nach ihm benannte Röhre[1] das seiner Unzulässigkeit ungeachtet allgemein angenommene Princip von einem *horror vacui* beseitigt hatte und man erkannte, dafs ein so bedeutender Druck auf alle Körper wirke, als durch die Atmosphäre ausgeübt werden müsse, war es von hohem Interesse zu erforschen, welche Veränderungen die Wegnahme dieses Druckes zu erzeugen vermöge. Man brachte daher die zu untersuchenden Substanzen in das obere Ende einer *Torricelli'schen Röhre*, füllte diese mit Quecksilber und kehrte sie um, indem man ihr offenes Ende in ein Gefäfs mit dieser Flüssigkeit senkte; weil aber diese Versuche nur mit kleinen Massen angestellt werden konnten, so versah man die Röhre mit einer offenen Halbkugel, verschlofs diese mit einer andern luftdicht, nachdem die zu untersuchenden Körper hineingebracht worden waren, und verfuhr auf die eben angegebene Weise. Man begreift jedoch bald, dafs die Mitglieder der Akademie zu Florenz durch alle ihre nach dieser Methode angestellte Versuche zu keinen genügenden Resultaten gelangen konnten. Otto v. Guericke, Churbrandenburgischer Rath und Bürgermeister in Magdeburg, vereinigte die zu seiner Zeit in den Florentiner Versuchen so bekannt gewordenen Ideen eines Wasserbarometers und der Saugpumpen mit einander auf die Weise, dafs

---

1 Vergl. *Barometer.* Bd. I. S. 762.

er die letztere umkehrte und dadurch das erstere verkürzte, d. h. er liefs eine Saugpumpe von grofsem Inhalte unten an einem Fasse anbringen, um durch diese das Wasser aus letzterem wegzunehmen und im oberen Theile einen leeren Raum zu erzeugen. Wirkliche Versuche überzeugten ihn aber bald von der Zwecklosigkeit dieses Verfahrens, weil das Holz für die Luft nicht undurchdringlich ist, und er sah daher ein, dafs er Metall zu seiner Maschine nehmen müsse, woraus dann zugleich die Nothwendigkeit ungleich kleinerer Dimensionen folgte. Er behielt daher die metallene Saugpumpe bei, versah sie aber statt des Fasses mit einer metallenen Kugel.

Das allgemeine Princip der Guericke'schen Luftpumpen, welches auch in der Folge stets beibehalten wurde, ist folgendes. Ist AB ein vollkommen cylindrischer Stiefel von Metall, in welchem der genau schliefsende Embolus m bis an den obern Deckel hinaufgeschoben wird, so mufs der Raum über diesem luftleer werden, wenn man ihn vermittelst der Handhabe f zurückzieht, vorausgesetzt, dafs die Luft nicht zwischen den Wandungen des Stiefels und des Embolus in den durch letzteren vorher eingenommenen Raum einzudringen vermag. Stellt man also zwischen dem inneren Raume des Stiefels und einem luftdichten Gefäfse durch das Röhrchen α eine Verbindung her, so wird die in letzterem enthaltene Luft in den leeren Raum des ersteren einströmen und dadurch eine Luftverdünnung erzeugt werden. Liefse sich dann dieses Luftquantum aus dem Stiefel wegschaffen, ohne wieder in das Gefäfs zurückzugehen, und also das erstere Verfahren öfters wiederholen, so wäre damit der beabsichtigte Zweck erreicht. Um dieses zu bewerkstelligen, erfand Otto v. Guericke den nach ihm benannten Hahn (*epistomium;* robinet; *cock*), welcher bis auf den heutigen Tag in seiner ursprünglichen Gestalt beibehalten worden ist. Das Rohr ab, welches das Gefäfs mit dem genannten Stiefel verbindet, erhält die vergröfserte kantige Metallmasse mm, welche lothrecht auf den in seiner Axe befindlichen Canal $\alpha\beta$ durchbohrt wird. In die durch diese Bohrung entstandene konische Höhlung ist der Bolzen nn so eingeschliffen, dafs die Metallflächen sich unmittelbar berühren, und damit er nicht in die Höhe gehoben werde, schiebt man auf sein unten hervorragendes kantiges Ende das mit seinem Rande überstehende Plättchen $\delta\delta$ und schraubt dieses mit der Schraube ε fest. Der Bolzen ist gleich-

Fig. 55.

Fig. 56.

falls in der Linie des feinen Canales $\alpha\beta$ durchbohrt und verstattet also der hierin strömenden Flüssigkeit einen freien Durchgang; dreht man ihn aber vermittelst des Handgriffs cd in einem Winkel von 90 Graden um seine Axe, so werden seine nicht durchbohrten Wandungen dem Canale zugewendet und die freie Strömung ist abgeschnitten. Um endlich die im Stiefel befindliche, durch den umgedrehten Hahn abgeschnittene Luft wegzuschaffen, bediente sich Otto v. Guericke eines sehr einfachen Mittels. Er bohrte nämlich in den Stiefel an dessen unterem Ende von oben herab ein kleines Löchelchen, schliff in dieses einen bis genau auf dessen innere Wandung herabgehenden metallenen Stöpsel, öffnete diesen, um vermittelst des Embolus die Luft aus dem Stiefel zu treiben, und verschlofs ihn, wenn er den leeren Raum wieder erzeugen wollte.

Fig. 57.

Die Luftpumpe, welche Otto v. Guericke nach diesen Grundsätzen verfertigen liefs und womit er 1654 seine berühmten Versuche auf dem Reichstage in Regensburg anstellte, habe ich in der Sammlung des bekannten Beireis nebst den Certificaten über ihre Aechtheit gesehen[1]. Sie bestand aus einem messingnen Stiefel A B, aus einem Embolus m mit eiserner Stange und hölzernem Handgriffe a b, einem eingeschmirgelten Stöpsel α und einem aufwärts gebogenen Ende C mit einer Schraubenmutter, um die zu exantlirenden Gefäfse hineinzuschrauben, in deren Verbindungsstücke sich dann der Hahn zum Absperren der in den Stiefel geströmten Luft befand. Meistens pflegte er die Maschine in ein Gefäfs mit Wasser oder mit Oel zu tauchen, so dafs blofs die beiden Endöffnungen frei herausstanden, um jedes Eindringen der äufseren Luft zu verhüten. Das Ganze war roh und schlecht gearbeitet, und es ist allerdings zu bewundern, wie Otto v. Guericke mit einem so mangelhaften Apparate so grofse Kugeln und Cylinder exantliren konnte. Der Widerstand der Luft gegen den freien Embolus war übrigens so grofs, dafs zwei starke Männer erfordert wurden, ihn wieder-

Fig. 58.

1 Die Documente ihrer Aechtheit konnte ich nicht prüfen, und ohne Zweifel ist dasjenige Exemplar das ächte, welches sich auf der Bibliothek in Berlin befindet. S. Nachrichten von dem Leben und den Erfindungen der Mathematik. 1788. Th. I. S. 120. Uebrigens hat Otto v. Guericke mehrere verfertigen lassen, namentlich eine, welche er schon 1651 dem Magistrate in Cöln zum Geschenke machte. S. Hindenburg's Magaz. Hft. X. S. 120.

holt herauszuziehen[1], und dieser Umstand führte auf eine spätere etwas veränderte Construction der Luftpumpe. Diese bestand aus einem eisernen Dreifuſs mit dem zwischen den drei Füſsen herabhängenden Stiefel, in dessen oberes Ende die zu exantlirenden Kugeln eingesetzt wurden, während die unten hervorragende Kolbenstange wieder bis zur verticalen Richtung in die Höhe gebogen war, um das aufstehende Ende vermittelst eines verlängerten Hebels, dessen kürzerer Arm den Stiefel ringförmig umgab und mit seinem Ende an dem einen der drei Füſse befestigt war, auf und nieder zu bewegen und auf diese Weise durch das Herabziehen und Aufwärtsbewegen des Embolus die Exantlirung zu bewirken[2].

Die wichtigsten Versuche, welche Otto v. Guericke in Regensburg anstellte und deren Anblick den Kaiser und die Fürsten des Reichs in gröſstes Erstaunen versetzte, waren zuerst das Zusammenhalten der exantlirten Halbkugeln durch den äuſsern Luftdruck, so daſs 24 Pferde sie nicht trennen konnten[3], und das Aufsteigen eines Embolus in einen weiten Cylinder, aus welchem die Luft vermittelst einer groſsen angeschraubten exantlirten Kugel weggenommen wurde. Um das Auffallende dieser Erscheinung noch augenfälliger zu machen, muſsten viele Männer den Embolus durch Herabziehen vergebens am Aufsteigen zu hindern suchen.

Eine vorläufige Nachricht dieser damals so merkwürdig scheinenden Versuche erhielt der Mathematiker Caspar Schott schon durch briefliche Mittheilung von Regensburg aus, indeſs bestellte sein Gönner Johann Philipp, Kurfürst von Mainz und Bischof von Würzburg, bei Otto v. Guericke eine solche Luftpumpe für ihn, die er dann bald darauf beschrieb und dadurch allgemeiner bekannt machte[4]. Hierdurch lernte auch

---

1 Ottonis de Guericke Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio. Amst. 1672. Fol. p. 75.

2 Casp. Schott Technica curiosa. Herbip. 1664. Lib. I. cap. 1.

3 Die ersten Halbkugeln hatten 0,67 Magdeb. Ellen im Durchmesser und waren für 16 Pferde berechnet, welche sie jedoch zu trennen vermochten; die zweiten, beide von Kupfer, maſsen 0,97 Magdeb. Ellen im Durchmesser und widerstanden dem Zuge von 24 Pferden. Die Kraft des Luftdruckes gegen dieselben war durch Otto v. Guericke nicht genau richtig berechnet. S. Experimenta nova Magdeburg. p. 104. ff. Ueber die Art der Berechnung s. d. Wörterb. Bd. I. S. 264.

4 In dessen Mechanica hydraulico-pneumatica. Herbipoli 1657. 4. P. II. p. 442.

Robert Boyle, schon längst von den Entdeckungen des Torricelli unterrichtet und mit der Prüfung ihrer Richtigkeit fleifsig beschäftigt, den neuen Apparat kennen und brachte dann mit Hülfe des Dr. Hooke nach einigen vergeblichen Proben die nach ihm benannte und schon 1659 beschriebene Luftpumpe zu Stande[1]. Den Stiefel stellte er lothrecht in den Ring eines Dreifufses, brachte unter demselben ein durch eine Kurbel bewegliches Getriebe an, welches in eine gezahnte Stange eingriff und vermittelst dieser den Embolus auf- und abwärts bewegte. Eben durch diesen Mechanismus unterschied sich seine Luftpumpe wesentlich von der Magdeburgischen, indem beide den Stöpsel α und den Hahn β an der aufgesteckten oder eingeschraubten Kugel gemein hatten; aber gerade diese Verbesserung verwarf Otto v. Guericke bei seiner spätern Construction wieder, weil die Exantlirung dadurch zu langsam bewerkstelligt wurde, und substituirte den oben erwähnten Hebel zur Erleichterung der Arbeit und des Kraftaufwandes. Robert Boyle stellte mit dieser Maschine eine so grofse Menge von Versuchen an und arbeitete mit derselben mit einem so eisernen Fleifse und einer so unermüdlichen Geduld, um das Verhalten der verschiedensten Körper im leeren Raume zu erforschen, machte aufserdem seine Entdeckungen so schnell bekannt, dafs seine Landsleute den durch Exantliren erzeugten luftleeren Raum nach ihm die *Boyle'sche Leere* (*vacuum Boylianum*) nannten und ihn für den Erfinder der Luftpumpe hielten, obgleich er selbst nebst vielem Ruhme seines deutschen Vorgängers gesteht, dafs er zwar schon früher an die Construction einer Luftpumpe gedacht habe, vor der Ausführung jedoch von Guericke's Erfindung durch Caspar Schott unterrichtet worden sey.

Fig. 59.

In Deutschland behielt man die ursprüngliche Einrichtung der Luftpumpen bei, aufser dafs Joh. Christoph Sturm in den Embolus ein Blasenventil setzte und die Luft durch eine Röhre in der Kolbenstange und eine Oeffnung in deren Handhabe aus dem Stiefel fortschaffte, um nicht bei jedem Kolbenzuge den kleinen Stöpsel der Guericke'schen Luftpumpe herauszuziehen,

1 New experiments physico-mechanical, touching the spring and weight of the air. Oxford 1660. Nova experimenta physico-mech. de vi aëris elastica, in Opp. T. I. p. 1. In den folgenden Bänden findet man noch weitere Nachrichten hierüber.

die er übrigens ungeändert liefs[1]. In England bediente man sich der Boyle'schen Einrichtung, und ebenso in Frankreich, wo jedoch DIONYSIUS PAPINUS[2] einige wesentliche Verbesserungen anbrachte. Darunter ist nicht zu rechnen, dafs er die gezahnte Stange mit dem Getriebe verwarf, statt dessen die verlängerte Kolbenstange mit einem Steigbügel versah, um den Embolus durch einen Tritt mit dem Fufse herabzuziehen, desgleichen mit einer aufwärts gehenden Stange und Handhabe, an welcher der Embolus wieder in die Höhe gehoben wurde, denn letzteres ist sehr unbequem; desto wichtiger war dagegen die Anbringung *des Tellers*, um vermittelst untergelegten, in Oel oder Wasser getränkten Leders Campanen von verschiedener Gröfse und Gestalt zur Aufnahme der zu untersuchenden Körper darauf zu setzen, und ein Blasen-Ventil, welches er in das Verbindungsrohr legte, um der in den Stiefel geströmten Luft den Rückgang abzuschneiden. Dadurch, dafs man nicht gezwungen war, bei jedem Kolbenzuge den Hahn umzudrehen, wurde die Operation des Exantlirens beschleunigt und durch den Teller die Anstellung aller Versuche ausnehmend erleichtert und vereinfacht.

Alle ältere Constructionen wurden jedoch durch diejenige verdrängt, welche WOLFERD SENGUERD 1685 beschrieb[3], aber erst 1697 durch einen geschickten Künstler ausführen liefs[4]. Sie wurde hauptsächlich in Deutschland sehr allgemein bekannt durch die Beschreibung eines Exemplars, welches der bekannte CHRISTIAN WOLF durch LEUPOLD in Leipzig 1718 verfertigen liefs[5] und welches sich noch jetzt im physikalischen Cabinette zu Marburg befindet. Sie unterscheidet sich durch die geneigte Lage des Stiefels AB, welcher dadurch eine bedeu- Fig. 60.

1 Collegium Experimentale sive curiosum. Norimb. 1676. 4. Part. I. Tentam. XIII. p. 100.

2 Nouvelles Expériences du Vuide. à Paris 1674. 4. A Continuation of the New Digestor of Bones. Lond. 1687. 4. Amst. 1688. 12. Part. II. Acta Erud. Lips. 1687. Mense Jun. p. 324.

3 W. SENGUERDII Philosophia naturalis. L. B. 1685. 4. De aëris natura. Lond. 1699. 4.

4 Rationis atque Experientiae connubium. Ed. tertia. Roterod. 1715.

5 C. Wolf's nützliche Versuche. Halle 1721. III Theile. 8. Th. I. S. 112.

tende Verlängerung zuläſst und durch das Rohr GE und die durchbohrte lothrechte Stütze F des Tellers mit diesem verbunden ist. Die gezahnte Stange K wird durch ein Getriebe in dem massiven hölzernen Stücke I hin und her bewegt, das Getriebe aber vermittelst der vier langen Hebelarme L, M, N, O in Bewegung gesetzt, wodurch sich der bedeutende Luftdruck auch gegen einen gröſseren Embolus leichter überwinden läſst. Ein kubisches Metallstück G am Boden des Stiefels ist für den Hahn durchbohrt, welcher vermittelst des Handgriffs BH bei jedem Kolbenzuge so gedreht wird, daſs der Canal aus dem Stiefel bis unter den Teller entweder offen oder verschlossen ist. Ein eingeschmirgelter Stöpsel P endlich verschlieſst den Verbindungs-Canal, wodurch die äuſsere Luft in das Rohr GE eindringt und durch diesen unter die Campane gelangt, wenn man sie nach beendigtem Versuche wieder abnehmen will. Senguerd lieſs den Hahn zuerst doppelt durchbohren, so daſs die eine durch seine Axe gehende Oeffnung Q eine Fortsetzung des Canales aus dem Stiefel durch das Rohr GE bis nach F unter die Campane bildete, damit bei zurückgezogenem Embolus die Luft aus letzterer frei bis in den Stiefel strömen konnte, die zweite R aber, welche mit dieser in einer horizontalen Ebene lag, in einen nach oben bis ans Ende des Hahns fortlaufenden Canal führte, so daſs beim Zurückgehen des Embolus die im Stiefel befindliche Luft hierdurch ins Freie ausströmen konnte. Dreht man den Hahn so, daſs die Oeffnung R nach der Campane hin gerichtet ist, so kann sich letztere durch den Canal TR wieder mit Luft füllen, wenn der oben genannte Stöpsel P weggenommen ist, welcher bei den meisten Exemplaren dieser Luftpumpen ganz fehlt[1].

Fig. 61.

Bei allen diesen Luftpumpen findet die Luftverdünnung bloſs bei der einen Bewegung des Embolus statt und bei dessen Rückgange ist Stillstand. Um daher in der Hälfte der Zeit die

1 Beschreibungen dieser Luftpumpen liefern auch Teichmayer Elem. Phil. natur. exper. Jen. 1717. p. 144. und Leupold in: Deutliche Beschreibung der sogenannten Luftpumpe. Leipzig 1707. nebst zwei Fortsetzungen. Ebend. 1711 und 1714. 4. Die Geschichte der älteren Luftpumpen, die Senguerd'sche mit einbegriffen, findet man in Dissert. de Antliis pneumaticis. Auct. Henrico von Sanden. Vitemb. 1739. 4.

nämliche Wirkung hervorzubringen, wählten Hawksbee und Leupold bald nach einander zwei Stiefel, durch welche abwechselnd die Exantlirung bewerkstelligt wurde. Mit beiden endigt eigentlich die erste Periode der Erfindung und der Verbesserungen dieser Maschinen, denn alle spätern blieben den bisher beschriebenen Constructionen mehr oder weniger getreu. Hawksbee's Luftpumpe wurde in England sehr hoch geachtet, sie ist in Deutschland weniger bekannt, und weil sie die schon damals erreichbare Solidität nebst den in jener Zeit beliebten Verzierungen sehr getreu darstellt, so halte ich es für geeignet, eine Zeichnung derselben genau in derjenigen Gestalt hier mitzutheilen, wie sie ihr Erfinder darstellen liefs[1]. Der Zweck der einzelnen Theile ist übrigens leicht kenntlich. Es sind nämlich a a, a a die beiden Stiefel, welche durch die messingne Büchse d d hindurchgehen und auf einem Stücke Messing mit einem Canale festgeschraubt aufsitzen, aus welchem das Rohr h h unter den Recipienten hinaufgeht. Zur Sicherung gegen das Eindringen der äufseren Luft sollte in die messingne Büchse Wasser gegossen werden. Unter jedem Stiefel befand sich in dem gemeinschaftlichen messingnen Verbindungsstücke ein Blasenventil und ein solches gleichfalls in jedem Kolben, wonach also dieselbe zu den *Ventil-Luftpumpen* gehört. Um den Stiefeln bei der beständigen Bewegung eine gröfsere Festigkeit zu geben, setzte Hawksbee sie zwischen die Säulen g g, g g, welche noch aufserdem durch zwei am hinteren Theile des Tisches befestigte Streben gestützt waren. Der Teller i i i i war auf vier stehenden Säulen unabhängig von den Stiefeln befestigt und hinlänglich erhöht, um die Barometerprobe l l l l m m anzubringen, die ich bei dieser Luftpumpe zuerst angebracht finde. Ein geschickter englischer Künstler Vream brachte dann hierbei den nachher bekannter gewordenen Mechanismus an, dafs man die Kurbel b b f blofs nach einer Richtung umdrehte, wobei dennoch die Kolbenstangen abwechselnd auf und ab stiegen, um durch Vermeidung des Zurückdrehens der Kurbel den Stillstand

Fig. 62.

1 Diese ist entnommen aus dem Originalwerke: A Course of Mechanical, Optical, Hydrostatical and Pneumatical Experiments. To be performed by Francis Hawksbee. Lond. 1709. 4. Eine Beschreibung findet sich ferner in Acta Erud. Lips. Suppl. T. V. p. 403. Spätere Beschreibungen zu erwähnen scheint mir überflussig.

zwischen beiden entgegengesetzten Bewegungen aufzuheben und somit die Exantlirung zu beschleunigen[1].

Leupold's Luftpumpe ist eine bloſse Vereinfachung der eben beschriebenen. Auch sie hat zwei Stiefel A und B, die auf einem ihnen beiden zugehörigen messingnen Bodenstücke aufsitzen, aus welchem das gemeinschaftliche Rohr von R aus unter den Recipienten auf dem Teller L M führt; das untere messingne Gefäſs, welches mit Wasser gefüllt wird, um das Eindringen der äuſsern Luft zu verhindern, ist gleichfalls beibehalten, die äuſsere Gestalt aber ist zweckmäſsig vereinfacht. Als wesentliche Aenderung ist anzusehen, daſs Leupold die gezahnte Stange nebst dem Getriebe verwarf, statt dessen aber die Enden der beiden Kolbenstangen durch einen gemeinschaftlichen Hebel verband und diesen vermittelst eines vorderen I H um die gemeinschaftliche Axe beider N drehte[2]. Durch die Verkürzung der Hebelarme beim Auf- und Niedergehen erhielten jedoch die Kolbenstangen eine schiefe Richtung und muſsten daher in einem Charniere beweglich seyn, wodurch dem genauen Gange der Kolben Abbruch geschah, weswegen denn auch dieser Mechanismus keinen Beifall gefunden hat. Bekanntlich wendet man, wenn nicht Rad und Getriebe vorgezogen wird, statt dessen Bogenstücke an, womit die Enden der Hebelarme versehen werden, an denen dann die Stangen in unveränderter verticaler Richtung in die Höhe gehen. Die Luftpumpe war übrigens, wie die von Hawksbee, eine Ventil-Luftpumpe und kann höchstens zur schnellen Erzeugung eines unvollkommenen Vacuums dienen.

Fig. 63.

s'Gravesande[3] hat zwei Luftpumpen angegeben, eine doppelte und eine einfache, von denen die erste sehr zweckmäſsig und geschmackvoll construirt war, beide Hahnluftpumpen, aber mit Selbststeuerung der Hahnen. Die doppelte stand auf einem Tische mit vier Beinen zum Rollen eingerichtet und jeder Fuſs war zugleich seitwärts mit einer Schraube versehen, um

1 Hutton Dict. Art. Air-Pump. T. I. p. 55.

2 Leupold deutliche Beschreibung der Luftpumpe. Erste Fortsetzung. 1711. 4. Acta Erud. Lips. 1713. Mense Febr. p. 95. ff.

3 Elementa Phil. nat. math. T. II. Lib. IV. cap. 4. J. van Musschenbroek Beschreibung der doppelten und einfachen Luftpumpe. Ueb. von J. C. Thenn. Leipz. 1785. Auch als Anhang bei P. van Musschenbroek Essay de Phys. Trad. par Massuet. Par. 1739.

auf dem Boden festgeschraubt zu werden. Auf dem Tische war die Luftpumpe selbst in einen Schrank eingeschlossen, dessen Wände dem Ganzen als Stütze dienten, denn die Stiefel waren nur so hoch, daſs die aufgezogenen Stangen bis unter die obere Decke des Schränkchens reichten, auf welchem der Teller stand. Ein gemeinschaftliches gezahntes Rad hob gleichzeitig die gezahnte Stange des einen Kolben und drückte die des andern herab, wozu wegen seiner Gröſse im Ganzen nur der sechste Theil einer Umdrehung erfordert wurde. Die von ihm angegebene Selbststeuerung der Hahnen wird noch jetzt gebraucht. Auf der Axe des Rades nämlich war an der hinteren Seite die Stange Cc aufgesteckt, welche in die beiden Füſse d und e auslief; die beiden Hahnen a, b aber waren durch die Stange fg verbunden, so daſs sich gleichzeitig der eine öffnete, der andere schloſs. War also z. B. der Embolus des Stiefels, welchem der Hahn b angehörte, fast ganz aufgezogen, der andere zum Hahne a gehörige fast ganz niedergedrückt, so ergriff der Fuſs d das Stängelchen S, drückte es zur Seite, indem es in der Vertiefung s schräg liegend etwas aus dieser gehoben wurde. War der eine Embolus mit der Bodenplatte des Stiefels in Berührung, der andere zur gröſsten Höhe gekommen, so ergriff der rückgehende Fuſs d das Stängelchen S, drückte dieses und die Stange fg nach der entgegengesetzten Seite und drehte dadurch beide Hahnen um eine Viertels-Umdrehung, so daſs der eine b sich schloſs, der andere a sich öffnete, beides in Beziehung auf den unter den Teller führenden Canal. Zur Bewegung des Rades diente ein gleicharmiger Hebel, wie bei LEUPOLD's Maschine, welcher mit einem in seiner Mitte befindlichen kantigen Loche auf die Welle des Rades gesteckt an seinen beiden Armen auf und nieder gedrückt wurde. Der Mechanismus der einstiefeligen oder einfachen Luftpumpe war dem eben beschriebenen völlig gleich, jedoch lag der Stiefel schräg, um mehr Raum zu gewinnen, und statt eines kreisförmigen Rades diente ein Sector. Bei den Hahnen beider Luftpumpen war endlich vor der ins Freie ausgehenden Oeffnung derselben ein Blasenventil angebracht, um die Bewegung des Embolus dadurch zu erleichtern.

Fig. 64.

Die Construction dieser noch jetzt gebräuchlichen Luftpumpe ist gewiſs sehr vorzüglich, auch kann ich in das Urtheil GEHLER's[1]

1 Wörterb. Alte Ausg. III. 67.

nicht einstimmen, dafs sie sehr zusammengesetzt und daher nicht allein kostbar, sondern auch vielen Beschädigungen ausgesetzt sey. Wenn aber auch P. van Musschenbroek [1] versichert, dafs schon 1680 sein Vater und dessen Bruder Luftpumpen von besserer Wirkung als die doppelte s'Gravesande'sche gehabt hätten, so ist dieses entweder auf Vorurtheil gegründet, oder die Künstler vermochten nicht, das Werk in gehöriger Vollendung auszuführen.

Nollet [2] giebt zwei Luftpumpen an, wovon die einfache häufig verfertigt und gebraucht, die doppelte aber überhaupt kaum in Gebrauch gekommen ist. Bei der ersteren behielt er im Wesentlichen die von Papinus angegebene Einrichtung bei, stellte also den Stiefel vertical, versah dessen Stange unten mit einem Steigbügel und einer aufwärts gebogenen Stange, woran ein Handgriff zum Aufziehen diente; statt des Blasenventils aber brachte er in dem Verbindungsstücke zwischen dem Stiefel und Teller einen doppelt durchbohrten oder Senguerd'schen Hahn an, welcher nach jedem Auf- und Niedergange des Embolus mit der Hand um einen Quadranten umgedreht wurde. Vor die Oeffnung dieses Hahns, welche in die freie Luft führte, legte er ein Blasenventil, so dafs die Luft zwar heraus-, aber nicht hineinströmen konnte. Hierdurch erlangte er den grofsen Vortheil, dafs sich hauptsächlich bei zunehmender Verdünnung der Stiefel nicht jederzeit wieder ganz mit Luft füllte, vielmehr die äufsere Luft gegen den Embolus drückte, folglich das ohnehin blofs mit der Hand geschehende Hinaufziehen desselben erleichterte, bis man zuletzt den Rest der eingeschlossenen Luft durch etwas stärkeres Aufziehen der Handhabe hinaustreiben mufste. Die doppelte Luftpumpe hat zwei neben einander stehende Stiefel, in welche die Kolben mit gezahnten Stangen von unten hinaufgingen und durch ein Stirnrad mit einer langen Kurbel bewegt wurden. Oben zwischen beiden Stiefeln lag ein

---

1 Introd. ad Phil. nat. T. II. §. 2120.

2 Mém. sur les Instruments, qui sont propres aux expériences de l'air. In Mém. de l'Acad. 1740 und 1741. p. 397. auch in Leçons de Phys. exp. T. III. Leç. X. Vergl. s'Gravesande Oeuvres philosophiques et mathematiques. Amst. 1774. T. I. No. 5. Ueber die einfache S. Stegmann Beschreibung einer kleinen Luftpumpe. Cass. 1772. Nil's Landerbeck suchte sie einfacher und bequemer zu machen. Schwed. Abh. Th. XXXVI. S. 121.

Hahn, welcher so durchbohrt war, daſs er beim Hin- und Herwenden abwechselnd bald den einen, bald den andern Stiefel mit der Campane in Verbindung setzte. Die Kurbel an der Axe des Stirnrades hatte am Ende einen Zapfen, welcher beim Anfange jedes neuen Zuges einen Arm des Hahns ergriff, mit sich fortführte und dadurch dem Hahne die gehörige Stellung gab. Den Kolbenstangen gab er einen sogenannten todten Gang, so daſs die Kolben nicht sogleich in Bewegung gesetzt wurden, wenn das Stirnrad in die gezahnten Stangen eingriff, sondern so lange still standen, bis der Hahn die erforderliche Drehung erhalten hatte [1].

Senguerd's, insbesondere Nollet's und auch s'Gravesande's Luftpumpen kamen auf dem Continente sehr allgemein in Gebrauch, in England aber behielt man die Hawksbee'schen bei; alle sind in der Anlage vortrefflich, die am häufigsten gebrauchte von Nollet rücksichtlich der Art der Bewegung des Kolbens wohl am wenigsten, allein nur selten oder überall nie wurden sie von den Künstlern mit der erforderlichen Feinheit gearbeitet. Insbesondere stand einer starken Verdünnung der sogenannte *schädliche Raum* entgegen, d. h. der Raum in den Canälen zwischen dem Embolus und dem Hahne oder dem Bodenventile, in welchem Luft von der Dichtigkeit der atmosphärischen zurückblieb, die sich dann allezeit wieder unter der Campane ausbreitete. Der Vorwurf des schädlichen Raumes traf insbesondere die Hahnluftpumpen, wo er am leichtesten vermeidlich gewesen wäre, aber als wesentlich ist zu betrachten, daſs bei allen bis dahin vorgeschlagenen Constructionen dieser Apparate die Luft mit ihrer ganzen Kraft auf den Embolus drückte, weswegen es namentlich bei den einstiefeligen kaum möglich war, Stiefel von bedeutender Weite in Anwendung zu bringen.

---

1 Es scheint mir fast zweifelhaft, ob diese doppelte Luftpumpe wirklich verfertigt worden ist. In dem 27 Jahre später geschriebenen Werke von Nollet, nämlich: Die Kunst physikalische Versuche anzustellen u. s. w. III Theile. Leipz. 1771. Th. II. S. 398. wird bloſs die einfache beschrieben, mit dem Zusatze, daſs diese unterdeſs wesentlich verbessert worden sey. Vielleicht war ihr Mechanismus für die damaligen Künstler zu sehr zusammengesetzt.

Smeaton's Luftpumpe.

Mit dem berühmten englischen Ingenieur JOHN SMEATON beginnt die neuere Periode der verbesserten Luftpumpen, welche sich in so vielen Stücken von den früheren unterschieden, dafs sie bald sehr allgemein bekannt und in den physikalischen Cabinetten aufgenommen wurden. Inzwischen hat man später sehr viele mit diesem Namen bezeichnet, die schon anderweitige sehr wesentliche Verbesserungen erhalten hatten, daher ich es der Vollständigkeit wegen für geeignet halte, eine Beschreibung der ächten und ursprünglichen mitzutheilen[1]. Als Verbesserungen giebt SMEATON selbst an, dafs er dem Ventile statt eines einzigen Loches sieben gegeben habe, wovon eins in der Mitte und sechs um dieses herum lagen. Hierdurch bezweckte er, dafs die Luft die Blase leichter heben sollte, ohne bei der Gröfse der Oeffnung sie durch den der Fläche proportionalen Luftdruck zu zerreifsen. Die späteren Künstler NAIRNE, BLUNT, HAAS und HURTER haben jedoch diese Veränderung nicht beibehalten. Eine zweite wesentlichere Verbesserung bestand darin, dafs das obere Ende des Stiefels mit einem Deckel verschlossen wurde, worin sich eine Lederbüchse befand, durch welche die Kolbenstange luftdicht ging, um den Druck der äufsern Luft gänzlich abzuschneiden und der unter dem Embolus beim Herabgehen befindlichen den Durchgang durch das Ventil zu erleichtern. Hieraus folgte dann nothwendig, dafs dieses Deckelstück gleichfalls mit einem Ventile versehen werden mufste. Die dritte Verbesserung machte die Pumpe ebensowohl zum Exantliren, als auch zum Condensiren geeignet. Um dieses zu be-

1 Phil. Trans. Vol. XLVII. No. 69. p. 414. Ein Exemplar, welches genau nach dieser Angabe durch den Mechanicus KAMPE in Göttingen verfertigt worden war, findet man in KÄSTNER's Anfangsgr. d. Math. Th. II. Abth. 1. Mechan. u. Opt. Wiss. Göttingen 1792. Taf. V. abgebildet. PRIESTLEY in Phil. Trans. LXIV. P. I. No. 8. klagte darüber, dafs kein englischer Künstler sie baue, als nach GEHLER's Zeugnisse in Wörterb. Alte Ausg. III. 73. KAMPE schon drei verfertigt hatte. LEISTE in Wolfenbüttel liefs durch den Mechanicus JOH. CHRIST. BOSSE eine solche Luftpumpe bauen, die er in der äufsern Form vielfach veränderte, ich kann jedoch den Werth seiner Verbesserungen nicht einsehen. Sie ist beschrieben in: Neue Einrichtung der Luftpumpe, angegeben und beschrieben von CHRISTIAN LEISTE, Conrector am Wolfenbüttelschen Gymnasio. Wolfenb. (ohne Jahrzahl) 4.

wirken, versah er dieselbe mit einem Hahne, welcher an drei gleich weit von einander entfernten Stellen durchbohrt war, so dafs eine von den Oeffnungen allezeit mit dem Stiefel und eine mit der freien Luft communicirte, wonach es blofs einer Drehung desselben um 120 Grade bedurfte, um zu exantliren oder zu condensiren.

Die äufsere Gestalt dieses Apparates war gefällig und doch fehlte es ihm nicht an der erforderlichen Festigkeit des Ganzen und der einzelnen Theile, welche kaum eine nähere Beschreibung bedürfen, um ihre Bestimmung einzusehen. A ist der Stiefel, B dessen Bodenstück, welches oben noch ein hohles Gefäfs zur Aufnahme von Wasser nach Art der älteren Luftpumpen bildet, um die Fugen des aufgesetzten Stiefels, der Leitungsröhren und des Hahns gegen das Eindringen der Luft zu sichern; der Hahn oder die Schraube b dient dann zum Ablassen des Wassers. Mit Ccc′ sind die drei Arme des Hahns bezeichnet, welche gewählt wurden, um durch ihre Stellung sogleich zu erkennen, ob die Pumpe zum Exantliren oder Condensiren eingerichtet sey. DH ist die Verbindungsröhre zwischen dem Bodenstücke des Stiefels durch die Oeffnung des Hahns zu einem hohlen Cylinder, welcher mit dem einen Ende unter den Recipienten mündet, am andern aber das Heberbarometer G und dessen Skale I trägt. Endlich war bei M eine Schraube angebracht, um einen Zapfen willkürlich höher oder niedriger zu stellen, damit der Apparat auch auf unebenem Boden feststehen konnte; die Vorrichtung KL zum Festschrauben der Campane beim Verdichten der Luft ist an sich klar.

Fig. 65.

In der Zeichnung, welche den Durchschnitt des Stiefels versinnlicht, erkennt man die Construction einzelner Theile noch deutlicher. AB ist der Stiefel, CD die Kolbenstange, MN die obere Schliefsplatte, mit der Lederbüchse K, welche beim Stillstande der Pumpe, wenn der Embolus den Boden berührt, durch die Kappe bei D verschlossen wird, OP ein aufgeschraubtes Stück, welches den Canal zum Rohre QR und das obere Ventil bedeckt. Im Embolus befinden sich zwei Löcher I und I, aus denen die durch die Ventilöffnungen bei E strömende Luft über den Embolus gelangt, und ebenso sind die mehreren Oeffnungen im Hauptventile GG des Bodenstückes angedeutet, welche Smeaton in dieses zu machen vorgeschlagen hatte, das Ventil selbst aber ruht auf dem massiven Bodenstücke HH, in

Fig. 66.

welchem sich der zum Hahn W führende Canal befand. Der Wasserbehälter ist in dieser Zeichnung nicht angedeutet, welche nur noch den oberen Theil des Hahns X und die Arme zum Drehen desselben darstellt. Der horizontale Querschnitt des Hahns erläutert die Bestimmung desselben. Man erkennt nämlich leicht die Höhlung EFG, worin er gedreht wurde, und den eigentlichen Körper LMN. Hatte derselbe die Richtung, welche die Zeichnung darstellt, so dafs die Oeffnungen L und M den Canälen HH und KK correspondirten, so exantlirte die Pumpe, indem die Luft unter dem Recipienten weg durch M und H in den Stiefel und durch den Canal N ins Freie gelangte, wurde er aber so gedreht, dafs der Canal LM mit H und KK zusammenfiel, so diente die Pumpe zum Condensiren, indem die Luft durch N in den Stiefel der Pumpe, von da durch das Rohr im Deckel und durch den Hahn und das unter den Recipienten führende Rohr aus der Mündung im Teller strömte. SMEATON versichert, mit dieser Pumpe eine 1000fache Verdünnung erhalten zu haben, wenn dieselbe frisch gereinigt und noch nicht lange gebraucht war, aber auch selbst nach einem längeren Gebrauche, wenn das Oel nur nicht eine zu grofse Zähigkeit angenommen hatte, auf allen Fall eine 500fache, wobei er sich auf Versuche in Gegenwart von ELLICOTT, KNIGHT, CANTON und WATSON angestellt beruft. Als Mefswerkzeug diente ihm hierbei die von ihm erfundene *Birnprobe* und hiernach kann die Angabe richtig seyn, wogegen eine Verdünnung bis unter 0,5 Lin. des Barometers für Ventilluftpumpen allezeit unglaublich bleibt [1].

Fig. 67.

Erst aus der Werkstatt der geschickten englischen Künstler NAIRNE und BLUNT gingen die in ihrer äufseren Form geschmackvoll veränderten, fein und dauerhaft gearbeiteten Luftpumpen hervor und wurden durch LICHTENBERG's ausführliche Beschreibung [2] in Deutschland allgemein bekannt. Die Einrichtung des Stiefels DE, der durch die Lederbüchse gehenden Kolbenstange, der hieran befindlichen gezahnten Stange und

Fig. 68.

1 Nach CUTHBERTSON in: Description of an improved Air-Pump, p. 3. wäre nach der Birnprobe wohl eine 100000fache Verdünnung mit feuchter Luft, aber nur eine 600fache mit trockner möglich.

2 ERXLEBEN's Aufangsgr. d. Naturlehre. Vierte Aufl. Gött. 1787. 8. Vorr. S. XL ff.

des Getriebes blieben unverändert. Aus dem unten angeschraubten Bodenstücke E des Stiefels geht das Rohr ed in das hohle messingne Parallelepipedon cb, welches statt einer Röhre unter dem Teller liegt und bei a mit einer Schraubenmutter mündet, um Apparate zum Exantliren hineinzuschrauben. Von der unteren Fläche dieses Stückes geht eine in Messing gefaſste und angeschraubte Glasröhre mit einer Barometerskale in das hölzerne Gefäſs G mit Quecksilber gefüllt, und da diese mit dem Raume unter der Campane in Verbindung ist, also gleichmäſsig verdünnte Luft enthält als diese, so giebt sie zugleich durch den Stand des Quecksilbers in ihr den Grad der Verdünnung an.

Smeaton hielt es für einen Vorzug seiner Luftpumpe, daſs man damit zugleich exantliren und comprimiren könne, was übrigens mit allen Hahnluftpumpen noch leichter bloſs durch entgegengesetzte Drehung der Hahnen zu erreichen ist. Für diesen Zweck geht aber das Rohr gh vom oberen Ende des Stiefels unter ein zweites messingnes hohles Parallelepipedon ok, welches gleichfalls unter dem Teller hinlaufend bei a mündet, so daſs also die über dem Embolus befindliche Luft auf diesem Wege unter die Campane gelangen kann. Um dann die Luftpumpe für die Verdünnung oder Verdichtung einzurichten, dienen die zwei Senguerd'schen Hahnen m und n. Stehen diese so, wie die Figur sie darstellt, so ist der Canal cb mit der Campane verbunden und die Verbindung des Hahns m mit der äuſseren Luft abgeschlossen, der Hahn n dagegen verschlieſst den Canal ok in der Art, daſs die Luft aus der Campane nicht durch ihn strömen kann, die nach o gerichtete Durchbohrung des Hahns aber mündet frei in das Gefäſs i, welches oben eine nach der Seite gehende Oeffnung hat, um die Verbindung mit der äuſsern Luft herzustellen, und zugleich dazu dient, das ausflieſsende, beim Exantliren im Canale gh hinaufgetriebene Oel aufzunehmen. Der Gang der Operation beim Exantliren und Condensiren läſst sich jetzt leicht übersehen. Haben für den ersteren Zweck die Hahnen die angegebene Stellung und wird der Embolus in die Höhe gewunden, so strömt die Luft aus dem Recipienten in die Mündung a, durch den Canal bc mit dem Hahne m, durch das Rohr de über das Bodenventil des Stiefels bei E, und wird durch letzteres am Rückgange gehindert. Beim erfolgenden Niedergange des Kolbens dringt die Luft durch das im Embolus befindliche Smeaton'sche Ventil, ohne aus dem Stiefel

zu entweichen. Dieses geschieht aber, wenn der Embolus abermals in die Höhe gewunden wird, weil dann das letztere Ventil ihr den Rückgang abschneidet, alsdann dringt sie durch das dritte Ventil im oberen Deckelstücke des Stiefels, strömt durch das Rohr gh, den Canal o und die Durchbohrung des Hahns n aus der Oeffnung des Gefäſses i ins Freie. Soll dagegen condensirt werden, so werden beide Hahnen um einen Quadranten umgedreht, damit der eine m die Communication unter die Campane verschlieſst, der andere n sie eröffnet. Die Luft strömt dann durch die ins Freie mündende Durchbohrung des Hahns m in den Canal c, durch das Rohr ge, das Bodenventil bei E, dringt über den Embolus durch das Ventil in diesem, wird beim Aufsteigen desselben durch das Ventil der Deckelplatte des Stiefels bei D, das Rohr gh und den Canal ok nebst dem Hahne n unter die Campane gepreſst, welche zu diesem Ende zwischen zwei in die Oeffnung bei x festgeschraubten, oben mit einem horizontalen Stücke versehenen Säulen festgehalten wird. Es ist indeſs an sich klar, daſs die feinen, zur Exantlirung dienenden Ventile für den starken Druck der comprimirten Luft nicht taugen. Die Ventile dieser Luftpumpe bestehen aus einem mit vier Zipfeln versehenen Stücke Wachstaffent, welches über einen Ring ausgespannt und mit diesem über die mit einem kleinen Loche versehene dünne Metallplatte so festgeschraubt wird, daſs es mit seiner Fläche die Ebene der Platte mit dem Löchelchen genau bedeckt, beim entgegengesetzten Drucke der Luft aber ein wenig in den hohlen Raum des Ringes hinabgedrückt werden kann. Es ist endlich leicht, durch die Drehung der Hahnen der Luft wieder den Zugang unter die exantlirte Campane zu eröffnen, allein weil sie hierdurch zu sehr würden abgenutzt werden, so ist bei y eine genau schlieſsende Schraube angebracht, durch welche dieses bewerkstelligt wird. Der Preis einer solchen Pumpe betrug 38 L.Stl.

Haas und Hurter vereinfachten den Bau der Luftpumpen dadurch, daſs sie den Mechanismus für die Verdichtung weglieſsen und für den Zweck des Comprimirens eigene Maschinen construirten, welche bereits oben [1] beschrieben worden sind. Sie änderten auſserdem die äuſsere Gestalt etwas ab und wählten diejenige, welche zunächst durch Cuthbertson und seitdem fast

1 Dieses Wörterb. Bd. II. S. 216.

allgemein bei den gröſseren Luftpumpen beibehalten worden ist, nämlich sie erbauten das Gestell in Form eines viereckigen Tisches mit vier geraden, unten vierkantigen, von der Mitte an runden Füſsen, auf denen oben die hölzerne Platte mit dem Teller in ihrer Mitte befestigt war. Das eigentliche Wesen der Verbesserung bestand jedoch darin, daſs nach schon erzeugter beträchtlicher Verdünnung, wenn die Luft das Ventil nicht weiter heben konnte, dieses durch einen eigenen Mechanismus gehoben wurde. HURTER's Vorschlag war, das Bodenventil in einem beweglichen Rahmen zu befestigen und diesen durch ein Pedal in die Höhe zu heben; der Mechanismus, welchen HAAS anbrachte, war zwar weniger künstlich, aber dennoch sehr zusammengesetzt. An dem unteren Theile des Stiefels AB befindet sich das Bodenstück CCDE mit einem weiten cylindrischen Canale, durch Schrauben an AB mit zwischenliegendem Leder befestigt. Bei G ist ein anderes Stück angeschraubt, an welchem das unter den Recipienten hinaufgehende Rohr H festsitzt. Das Bodenventil soll aus einem Stücke von geöltem Taffent bestehen, welches über eine mit 6 Löchern versehene und im Bodenstücke CDGC befestigte Platte ausgespannt ist, jedoch wandte HAAS bei der Ausführung seine noch jetzt gebräuchlichen Blasenventile an, deren Platte nur mit einem einzigen Löchelchen versehen ist. Im Canale DGFE befindet sich der Stempel KIr, dessen unteres Ende in den Hebel MO bei N befestigt ist, welcher sich um den Stützpunct M bewegt; der Stempel selbst aber besteht aus einem messingnen, mit Leder umschlossenen Cylinder und wird durch eine bei K befindliche Spiralfeder in die Höhe gehoben, auch ist er in der Mitte und seitwärts so durchbohrt, daſs er der aus dem Rohre H in den Stiefel einströmenden Luft einen Durchgang eröffnet. Ist dann der Stempel in derjenigen Lage, wohin ihn die Spiralfeder drückt, so wirkt die Maschine wie eine gewöhnliche Ventilluftpumpe; tritt man aber mit dem Fuſse auf den Hebelarm O, so geht der Stempel nieder, verschlieſst die Communication aus dem Rohre H, verstattet dagegen der Luft, frei neben den Seiten des entblöſsten Ventiltaffents in den Embolus zu dringen [1].

Fig. 69.

---

1 Diese Luftpumpe ist beschrieben von CAVALLO in Phil. Trans. LXXIII. P. II. p. 435. Daraus in LICHTENBERG Mag. T. III. St. I. S. 97. Ein Exemplar, welches sich im hiesigen Cabinette (zu Heidelberg)

Cuthbertson's Luftpumpe.

Auf gleiche Weise geschmackvoll in ihrer Form als sinnreich in ihrem Mechanismus construirt ist Cuthbertson's Luftpumpe, nach ihrem Erfinder, einem wissenschaftlich gebildeten Künstler in Amsterdam, nachher in London, benannt [1], und da man für gröfsere Apparate späterhin diese meistens als Muster beibehalten hat, so stellt die Figur die grofse zweistiefelige nach der Originalzeichnung dar. Sie bedarf nur weniger Erklärungen, da sie an sich verständlich ist, namentlich die beiden Stiefel mit den gezahnten Stangen und der gemeinschaftlichen Kurbel, der Teller, das Heberbarometer nebst dem langen Barometerrohre und den Skalen, um den Unterschied der Quecksilberhöhen zu messen und danach den Grad der Verdünnung zu bestimmen. Es verdient also blofs bemerkt zu werden, dafs der mit einer Schraube versehene messingne Cylinder A eine Oeffnung verschliefst, welche zur Aufnahme eines dritten abgekürzten Barometers bestimmt ist, in welchem Falle dann die Luft durch die aufgeschraubte Oeffnung B im Bodenstücke beider Cylinder zugelassen wird. Endlich ist durch die punctirten Linien zwischen OO ein Querbalken mit zwei Höhlungen angedeutet, in welche die oberen Oelbehälter beider Stiefel genau passen und durch ein gedrängt eingeklemmtes Stück Holz fest-

Fig. 70.

---

befindet, ist ausnehmend fleifsig gearbeitet und ungeachtet eines mehr als zwanzigjährigen Gebrauches stets noch sehr gut. Die verschiedenen Künsteleien, welche die Beschreibungen angeben, fehlen ihr, das Rohr geht einfach vom unteren Theile des Bodenstückes unter den Teller und am oberen Deckel des Stiefels ist die Smeaton'sche Vorrichtung angebracht, dafs die Luft aus dem Stiefel durch ein Blasenventil und einen Canal in ein Gefäfs entweicht, welches zugleich das ausfliefsende Oel aufnimmt. Das Pedal aber mitsammt dem Cylinder im Bodenstücke ist herausgenommen, weil dieser Mechanismus zu wenig haltbar befunden wurde und, wie schon Lichtenberg Mag. a. a. O. S. 99. bemerkt, dem vorhandenen Fehler nicht abhilft, indem in dem verschlossenen Canale und Recipienten die Luft zurückbleibt, welche das Ventil nicht weiter zu heben vermag. Aus diesem Grunde findet man nach dieser Art construirte Luftpumpen nicht häufig und es scheint mir daher auch überflüssig, den Bau derselben vollständig zu beschreiben und durch eine Figur zu erläutern.

1 Schon vor Cuthbertson im Jahre 1779 soll Daniel Rutherford eine Pumpe mit ganz gleichen Kegelventilen angefangen, aber nicht vollendet haben. Encyclop. Brit. T. XV. p. 107.

gehalten werden, um den Stiefeln mehr Haltbarkeit zu geben. Man nimmt dasselbe zuerst weg, wenn man die Stiefel zum Reinigen oder aus sonstigen Ursachen aus einander nehmen will.

Der innere Bau dieser Maschine ist zwar etwas künstlich und war für die älteren Mechaniker eine zu schwierige Aufgabe, allein dafs er sehr zweckmäfsig und höchst sinnreich ausgedacht sey, läfst sich keinen Augenblick in Abrede stellen. Um ihn zu verstehen, bedarf es blofs einer Durchschnittszeichnung des einen Stiefels. Der Körper dieses Stiefels ist durch CD bezeichnet und man sieht bald, dafs dieser, genau cylindrisch durchbohrt, auf das untere Bodenstück aufgesetzt und mit dem wesentlich zu ihm gehörigen oberen Theile bedeckt wird. In ihm befindet sich der Embolus I, welcher aus einem Stücke Messing mit einer den Stiefel fast ganz ausfüllenden Bodenplatte besteht. Auf den messingnen Körper dieses Embolus wird ein genau passendes Stück Kork I geschoben und mit einer zwischen ihm und der messingnen Bodenplatte festgeklemmten Kappe aus weichem, gleichmäfsig dickem Schafleder überzogen. Der Kork wird durch eine in der Zeichnung kenntliche, gehörig durchbohrte, messingne Platte, einen breiten Ring, bedeckt und letzterer mit einer Schraube festgeschraubt, welche um so viel kleiner ist, als erfordert wird, damit sie beim Aufziehen des Embolus genau in die Vertiefung im oberen Deckelstücke pafst. Unter dieser ringförmigen Schraube ist seitwärts lothrecht auf die verticale Axe des Embolus durch den messingnen Körper desselben ein kleines Löchelchen gebohrt und mit einer kleinen Schraube versehen, deren Kopf in die Schraubengewinde vertieft liegt, während ihre Spitze in eine kleine verticale Furche im Kegelventile hervorragt, um dieses festzuhalten, wenn man die Kolbenstange in dasselbe einschrauben oder herausschrauben will, indem es sich sonst in seiner eingeschliffenen Höhlung drehen würde. Das Ventil selbst besteht nämlich aus einem messingnen Kegel, unten mit einem stumpferen konischen Ende versehen, und ist in den inneren messingnen Theil des Embolus genau eingeschliffen, so dafs es geöffnet, wie in der Zeichnung, mit der Bodenplatte des Embolus eine ganz ebene, die Bodenplatte des Stiefels in allen Puncten berührende, Fläche bildet, an der Kolbenstange in die Höhe gezogen aber die Höhlung im Embolus völlig verschliefst. Wenn also die untere Fläche des Embolus nach dem Herabdrücken die im Stiefel befindliche Fläche des Boden-

Fig. 71.

stückes genau bedeckt, so daſs keine Luft zwischen beiden zurückbleibt, und man hernach den Embolus an der Kolbenstange in die Höhe zieht, so verschlieſst im nämlichen Momente das Kegelventil den hohlen Raum im Embolus gänzlich, alle Luft über demselben wird in die Höhe gehoben und die unter dem Recipienten befindliche kann aus dem Canale m in den leeren Stiefel dringen. Zum Bodenventile dient der cylindrische Messingstab qq, welcher unten mit einer Scheibe von geöltem Leder bedeckt ist und sich luftdicht in einer Lederbüchse im Embolus, übrigens aber frei in der hohlen Kolbenstange bewegt. Unten ist diese Stange mit einem feinen eingeschraubten Stahlstiftchen versehen, welches in der weiteren Oeffnung im Bodenstücke bis O herabgeht, wo ein so breites Plättchen daran geschraubt ist, daſs es nicht durch die Oeffnung geht, jedoch ist das Stängelchen zwischen der Grundfläche der Stange qq und dem aufgeschraubten Plättchen um fast 0,5 Lin. länger, als die Dicke des Bodenstückes zwischen L und O beträgt, so daſs sich die Grundfläche der Stange qq um diese Höhe über die Oberfläche der Bodenplatte L erheben läſst. Indem aber die Stange qq in der Lederbüchse im Embolus fest eingeschlossen ist und hierin eine merkliche Reibung erleidet, so muſs sie beim Aufziehen des Embolus sich so weit erheben, bis das am unteren Stängelchen aufgeschraubte Plättchen an die Fläche O stöſst, und dann erst wird sich der Embolus über ihr hinaufschieben; dadurch aber wird die Oeffnung im Bodenstücke bei L frei und die Luft strömt, wie geringe auch ihre Elasticität seyn mag, ungehindert aus dem Recipienten durch das Rohr m in den Stiefel. Diejenige Luft, welche sich über dem Embolus befindet und durch das angezogene, also geschlossene Kegelventil nicht wieder in den unteren Theil des Stiefels dringen kann, muſs durch den Canal aa in den Raum der Röhre RR entweichen und gelangt aus diesem zusammt dem Oele, welches sie durch die ganze Pumpe von der Oeffnung im Teller an mit sich fortreiſst, durch das Rohr c mit dem Hahne b wieder in das Oelgefäſs G. Der obere Theil der Röhre RR ist mit einem festgeschraubten Deckel versehen, welchen man abnehmen und den Fuſs eines Tellers aufschrauben kann, um die Pumpe nach Verschlieſsung des Hahns b zum Comprimiren zu gebrauchen [1]. Endlich ist F eine

1 Diese Vorrichtung findet sich weder in der Original-Zeichnung

zogen, so strömt die Luft aus der Campane in den Stiefel; man dreht dann den Schlüssel g zurück, verschliefst somit k völlig, öffnet dann n durch Drehung des Schlüssels h, treibt den Stempel wieder zurück und die Luft entweicht durch n. Ehe man zum andern Male c öffnet, mufs zuvor l wieder verschlossen werden, und in diesem Wechsel geht die Exantlirung fort.

Hierbei ist allerdings der schädliche Raum gänzlich vermieden, allein es findet die Unbequemlichkeit statt, dafs der Kolben nach unten gezogen werden mufs, welchem allenfalls durch Umdrehung der Einrichtung abzuhelfen wäre; aufserdem aber ist die Operation des Drehens beider Schlüssel sehr weitläuftig und endlich ist es unmöglich, die Kegel genau in die Höhlungen, in die Schraubengewinde und sogar noch in Lederbüchsen einzupassen, wie bei dem einen c geschehen soll.

Der erste, welcher die gewöhnlichen Hahnluftpumpen wieder empfahl und durch den Effect einer für das Teyler'sche Museum verfertigten, verglichen mit demjenigen, welchen eine eben dort befindliche ächte Cuthbertson'sche gab, ihre Vorzüge darthat, war van Marum[1]. Im Wesentlichen bestand dieselbe aus einem sehr grofsen Stiefel von 3,5 Z. Durchmesser und 25 Z. Höhe, mit einem genau schliefsenden Embolus, dessen Bodenplatte ganz eben auf die innere Fläche des Bodenstückes geschliffen war, um zwischen beiden keinen schädlichen Raum zu lassen. Der Stiefel stand vertical, statt der schrägen Lage, die ihm Senguerd gegeben hatte, im Bodenstücke aber befand sich der Senguerd'sche Hahn mit einem Hebelarme, um die Drehung desselben mit dem Fufse zu bewerkstelligen. Der Canal im Bodenstücke, von dessen oberer Fläche bis zum Hahne, war nicht mehr als 9 Lin. lang und 1 Lin. weit, sein Inhalt daher unbedeutend gegen den des Stiefels[2]. Voigt[3] bemerkt jedoch, dafs schon neun Jahre früher Schröder den schädlichen Raum gänzlich vermieden habe, indem er dem Embolus unten die Form einer Halbkugel gab und noch obendrein unten an dieser einen

1 Description de quelques Appareils chimiques cet. Par Martinus van Marum. 1798. 4. Daraus in Voigt's Mag. Th. I. St. 3. S. 156 und in G. I. 379.

2 Rechnet man für den Embolus 3 Zoll Höhe, so betrug der Inhalt dieses Canals bei aufgezogenem Embolus den 51744sten Theil vom Inhalte des Stiefels, welches allerdings eine unmefsbare Gröfse ist.

3 Mag. a. a. O. S. 168.

Stift befestigte, welcher bis auf den Hahn herabging; aufserdem aber wurde an dieser Schröder'schen Maschine der Hahn durch einen am obern Theile der Pumpe befindlichen Handgriff gedreht, welcher einen gezahnten Sector und durch diesen eine in das gezahnte Rad am Hahne eingreifende Stange in Bewegung setzte. Letzterer Mechanismus war also im Wesentlichen derselbe, wie bei der durch G. G. Schmidt beschriebenen, von Rösler verfertigten Luftpumpe, deren Embolus gleichfalls unten sphärisch gekrümmt ist[1]; auch hat Otteny mehrere Maschinen nach dieser Einrichtung geliefert, bei denen der Hahn durch eine Kurbel mit der Hand vermittelst eines gezahnten Sectors gedreht wird, am unteren Theile des Embolus sich aber ein bis auf den Hahn herabgehender eingeschliffener Konus befindet[2].

Der Vorschlag, den schädlichen Raum durch einen bis auf den Hahn herabgehenden Konus gänzlich zu vermeiden, rührt hauptsächlich von F. Parrot her[3]; aufserdem soll nach dessen Angabe ein Gewicht über Rollen herabhängend den Embolus beim Aufwinden mit in die Höhe heben, beim Herabwinden aber oben auf die gezahnte Stange gesteckt werden, um den Niedergang zu erleichtern, wodurch jedoch die Operation des Exantlirens mehr zusammengesetzt und zeitraubend wird, als mit der gewonnenen Erleichterung im Verhältnifs steht. Zugleich soll der Hahn im Bodenstücke des Stiefels nicht durch eine Schraube, sondern durch eine Feder stets angezogen werden, um jederzeit gehörig dicht zu schliefsen. Ich selbst lieferte bald nachher eine ausführliche Beschreibung, auf welche Weise eine solche Hahnluftpumpe zu verfertigen ist, wenn sie das Erforderliche leisten soll, und wie man dieselbe leicht mit einer Vorrichtung versehen kann, um verschiedene Gasarten unter die Recipienten zu bringen und diese, wie auch die atmosphärische Luft zu

1 G. G. Schmidt Handbuch der Naturlehre. Giefsen 1813. Th. I. S. 112.

2 Intell. Blatt d. Allg. Lit. Zeit. 1805. No. 145. Voigt Mag. Th. X. St. 2. S. 146.

3 Voigt Mag. Th. II. St. 1. S. 182. Schon vorher hatte Gervinus gerathen, einen Cylinder oder Konus für diesen Zweck anzuwenden. Gött. Gel. Anz. 1793. No. 202. Voigt Mag. Th. I. St. 2. S. 159. Th. IV. St. 2. S. 234.

comprimiren[1]. Unterdefs wurden fortwährend neue wirkliche oder auch nur vermeintliche Verbesserungen bekannt gemacht. Dieses geschah unter andern durch James Little[2], dessen angegebene Construction aber zusammengesetzt und den Absichten gewifs nicht völlig entsprechend ist, obgleich man das Sinnreiche der Erfindung nicht verkennen kann, und durch Messerschmidt, welcher zwei Stiefel über einen gemeinschaftlichen Hahn setzte, dessen Durchbohrungen abwechselnd unter den Recipienten und ins Freie führten. Inzwischen drückt nach der von ihm gewählten Construction die Luft frei auf die Kolben, wie bei der Senguerd'schen, s'Gravesande'schen und andern Maschinen; auch wird der Hahn vermittelst einer Handhabe mit der Hand gedreht[3]. Ein sinnreicher Vorschlag Grassmann's bezweckt, nach Art der von Little angegebenen einstiefeligen Luftpumpe, den schädlichen Raum über dem Hahne dadurch zu vermindern, dafs die in dem Canale des Hahns zurückbleibende Luft beim Umdrehen desselben und nach abgeschnittener Verbindung mit dem unter den Recipienten führenden Rohre in den mit verdünnter Luft gefüllten Stiefel geleitet wird. Diese künstlichere Vorrichtung scheint ihm deswegen geeigneter, weil er glaubt, dafs die Anwendung der konischen Verlängerung des Embolus bis zur Berührung mit dem Hahne unzulässig sey, welches jedoch den bereits gemachten Erfahrungen widerspricht[4]. Uebrigens ist die Idee, auf die angegebene Weise den schädlichen Raum auf ein Minimum zu bringen, allerdings des Beifalls werth, welcher ihr unter andern durch Cramer[5] zu Theil wird, es steht ihr jedoch entgegen, dafs man bei der Drehung des Hahns allezeit etwas anhalten soll, damit sich die Luft in dem abgeschlossenen Stiefel ausbreite, ein vollendeter Mechanismus der physikalischen Apparate fordert aber, dafs der Experimentirende, aufser einer blofs mechanischen Bewegung, seine Aufmerksamkeit ausschliefslich auf den

1 Voigt Mag. Th. VI. St. 1. S. 146.

2 Voigt Mag. Th. I. St. 4. S. 158. Ausführlich aus Trans. of the Royal Irish Acad. Dublin. VI. 319. in Nicholson's Journ. II. 501. und G. VI. 1.

3 G. XLIII. 144.

4 G. LXV. 392. Ottent im Int. Bl. d. Allg. Lit. Zeit. 1805. No. 145.

5 G. LXXI. 106.

Gegenstand des Versuchs und nicht auf die Eigenthümlichkeiten seiner Maschinen wende. Endlich beruht der Werth der Luftpumpen auf ganz andern Bedingungen, als der Wegschaffung des schädlichen Raumes, wie sich später zeigen wird.

Die neuesten in Deutschland bekannt gewordenen Hahnluftpumpen sind die durch Fr. Körner verfertigten, deren Construction zugleich von ihm genau beschrieben worden ist[1]. Sie bestehen aus einem Stiefel, einem Embolus mit einem Konus, Stange und Getriebe wie gewöhnlich, der Stiefel ist jedoch oben nicht bedeckt und der Hahn wird durch eine von oben herabgehende, oben und unten gezahnte Stange vermittelst eines oben angebrachten Hebelarmes mit der Hand gedreht.

Erst seitdem die Stiefel oben bedeckt wurden, konnte man auf die Idee kommen, die Verdünnung sowohl beim Heraufgehen, als auch beim Herabgehen des Embolus zu bewirken oder die sogenannten doppeltwirkenden Luftpumpen zu construiren, und dieses geschah auch wirklich schon durch Schrader bei der von ihm verbesserten und mit Kegelventilen versehenen Smeaton'schen Maschine. Gervinus[2] übertrug diesen Mechanismus auf die Hahnluftpumpen, wofür er noch ungleich geeigneter ist, weil bei ihnen der Embolus keine Ventile hat und also bei jeder Bewegung ganz gleichmäfsig wirkt. Von vorzüglicher Wirksamkeit ist diejenige Luftpumpe, welche v. Bohnenberger durch den geschickten Mechanicus Buzengeiger ausführen liefs, und eine dieser ähnliche Construction hat Cramer[3] in Vorschlag gebracht, überhaupt ist dieser Mechanismus so einfach, dafs die Ideen der verschiedenen Physiker und Mechaniker in der Hauptsache gleich seyn müssen und nur in Nebensachen von einander abweichen können. Ist es also gegründet, dafs die Hahnluftpumpen vor den übrigen den Vorzug verdienen, weil, auch angenommen, dafs mit ihnen die Verdünnung nicht weiter, als mit den übrigen getrieben werden könnte, sie auf allen Fall einfacher im Baue, dauerhafter, dem Einflusse des sich verdickenden Oeles weniger oder vielmehr gar nicht ausgesetzt und zum Verdichten der Luft geeigneter sind, als die

---

1 Anleitung zur Verfert. übereinstimmender Thermometer und Barometer u. s. w. Nebst einem Anhange. Jena 1824. 8. S. 199 ff.

2 Voigt Mag. IX. 517.

3 G. LXXI. 104.

mit Ventilen versehenen, so läfst sich nicht in Abrede stellen, dafs die Aufgabe, eine zweckmäfsige Construction der doppeltwirkenden, also nur die Hälfte des Zeitaufwandes erfordernden Luftpumpen aufzufinden, eine hinlänglich wichtige für die Mechaniker sey.

Die Mühe, bei jedem Wechsel des Kolbenspieles den Hahn oder beide mit der Hand in die gehörige Stellung zu bringen, ist zwar nicht eben bedeutend, allein es unterliegt zugleich keinem Zweifel, dafs dieses Geschäft mit einiger Störung auf das Experiment wirkt, nicht gerechnet, dafs letzteres zuweilen auch der linken Hand (wenn man mit der rechten die Kurbel dreht) zu thun giebt, namentlich die Campane zuerst festzuhalten und anzudrücken, lange schmale Cylinder gegen das Fallen durch Erschütterung zu sichern, Hahnen am Verbindungsrohre zu öffnen u. s. w. Auf jeden Fall würden die Hahnluftpumpen denen mit Ventilen in etwas nachstehen, wenn es nicht möglich wäre, diese vermehrte Mühe zu beseitigen. Man hat daher schon seit geraumer Zeit verschiedene Mechanismen zur Selbststeuerung der Hahnen aufzufinden sich bemüht, wie denn namentlich ein solcher bereits oben bei der s'Gravesande'schen Maschine angegeben worden ist. Im Allgemeinen kann die Aufgabe nicht schwer seyn, eine Vorrichtung dieser Art aufzufinden, da deren ohnehin verschiedene bei den Dampfmaschinen in Anwendung gebracht worden sind, allein diese haben das Eigenthümliche, dafs sie die Hahnen allezeit erst nach vollendetem Kolbenzuge öffnen und schliefsen, auch kann bei den Dampfmaschinen ohne Nachtheil der letzte Theil der Bewegung der Kolbenstange zugleich zur Steuerung der Hahnen benutzt werden, weil das Schwungrad für diese geringe Zeitdauer den Gang der ganzen Maschine unverändert erhält; bei der Luftpumpe aber, mit welcher die Verdünnung auf ein Minimum gebracht werden soll, mufs die Steuerung der Hahnen erst dann erfolgen, wenn der Embolus seinen höchsten oder tiefsten Stand erreicht hat, und vollendet seyn, ehe seine Bewegung wieder beginnt. Diese Bedingung läfst sich, wie schon durch s'Gravesande geschehen ist, leicht erfüllen, wenn man der Kolbenstange oder dem sie bewegenden Getriebe einen todten Gang giebt, so dafs bei jedem beginnenden Wechsel der Kolbenbewegung der Embolus so lange ruht, als die Drehung der Hahnen dauert. Bei den Luftpumpen kommt inzwischen noch eine zweite Forderung hinzu. Es tritt nämlich häufig der

Fall ein, dafs man die Exantlirung mitten im Kolbenzuge zu unterbrechen veranlafst wird, ja der Operirende bringt bei der Drehung der Kurbel mit der Hand den Embolus nicht allezeit zur gröfsten Höhe oder Tiefe, und es ist daher, wo nicht nothwendig, doch auf jeden Fall sehr wünschenswerth, einen solchen Mechanismus in Anwendung zu bringen, vermöge dessen die Steuerung des Hahns vor jedem Wechsel der Kolbenbewegung, mag diese vollendet seyn oder nicht, und zugleich während des Stillstandes des Embolus erfolgt.

Es sind mir nicht viele, diese Bedingungen erfüllende Vorrichtungen bekannt geworden, weil die Zahl der Hahnluftpumpen mit Selbststeuerung, als einer einzelnen Species unter den übrigens zahlreichen Maschinen, nicht eben grofs ist, und aufserdem werden die von den Künstlern für einen individuellen Fall ausgesonnenen Mechanismen nicht allezeit zur öffentlichen Kenntnifs gebracht. Eine Vorrichtung für einen horizontal liegenden Stiefel hat Gervinus[1] bekannt gemacht, aber dieser Lage des Stiefels steht der Nachtheil entgegen, dafs sie kein Oelgefäfs zuläfst, um die Kolbenstange durch dieses gehen zu lassen und somit stets schlüpfrig, leicht bewegbar und den Stiefel stets luftdicht schliefsend zu erhalten. Ist dieses gleich entbehrlich, wie sich weiter unten zeigen wird, so scheint mir dennoch der ganze, obschon übrigens sinnreich ausgedachte Mechanismus keine vorzügliche Empfehlung unter den neuerdings bekannt gewordenen zu verdienen. Eine zweckmäfsige Vorrichtung zur Selbststeuerung des Hahns ist ferner durch Rösler an der bereits oben erwähnten, durch G. G. Schmidt beschriebenen Luftpumpe angebracht[2]. Betrachtet man die Vorrichtung, wie sie sich in einer auf die Axe des Hahns perpendiculären Ebene zeigt, so ist A ein gezahntes Rad an der hintern dicken Seite des Hahns, in welches die gezahnte Stange B eingreift. Um zugleich die Pumpe zum Comprimiren zu benutzen, ist die gezahnte Stange mit zwei Schenkeln versehn, welche sich in den Oeffnungen cc der Platte C bewegen, und wenn letztere seitwärts geschoben wird, so greift der zweite Arm der gezahnten Stange in das Rad des Hahns, dessen Be- Fig. 73.

1 Voigt Mag. IX. S. 517.

2 G. G. Schmidt Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. Giefsen 1826. S. 193.

wegung dadurch entgegengesetzt wird, und es findet dann Compression statt. Die Verlängerung dieser Stange nach oben sieht man sowohl in der angenommenen Ebene, als auch seitwärts in einer mit der Axe des Hahns parallelen dargestellt, um die kleinen Ansätze b und e besser wahrzunehmen, durch welche sie auf- und abwärts bewegt wird. An dem Ende der Kurbelaxe nämlich, durch welche der Embolus auf und ab gewunden wird, befindet sich die messingne Scheibe D befestigt, auf deren beiden Flächen die stählernen Hebelchen α, α' und β, β' in den vier Quadranten angebracht sind, um die Steuerungsstange des Hahns auf- und abwärts zu drücken. Die Kolbenstange hat deswegen einen todten Gang, welcher so lange anhält, bis die Regulirung des Hahns erfolgt ist. Hat also der Embolus seinen tiefsten Stand erreicht, wie bei der Zeichnung angenommen ist, und wird durch Umdrehung der Kurbel die Scheibe D um ihre Axe gedreht, so greift der stählerne Hebel α gegen den Ansatz b und hebt die Stange B so hoch, bis der Hahn um einen Quadranten gedreht ist; die auf der anderen Seite der Scheibe befindlichen Hebel legen sich aber zurück, so oft sie den Ansatz e berühren, bis die Kurbel entgegengesetzt gedreht wird, worauf sie dann gegen e greifen und den Hahn rückwärts um einen Quadranten umdrehen.

Gegen diesen übrigens vortrefflichen Mechanismus finde ich zweierlei zu erinnern; zuerst erregen die Hebelchen, welche der Zeichnung nach noch obendrein und allerdings aus triftigen Gründen mit Federn versehen sind, um allezeit sicher einzugreifen, bei jedesmaliger Berührung des Ansatzes einen Schall, wodurch bei schneller Exantlirung ein Klappern hervorgeht; zweitens aber kann es sich treffen, daſs beim tiefsten Stande des Embolus das Hebelchen α gerade über dem Ansatze b steht, in welchem Falle die Scheibe D erst nahe einen halben Umlauf erhalten muſs, ehe das zweite Hebelchen α' den Ansatz erreicht, wodurch zu viele Bewegung unnütz verloren wird. Um dieses zu vermeiden, sind zwar statt eines einzigen zwei Hebelchen angebracht, auch läſst sich dann für die gewöhnliche Bewegung des Embolus durch die ganze Länge des Stiefels der Scheibe eine Viertelsumdrehung durch ein verändertes Aufstecken auf den vierkantigen Zapfen geben, allein einiger Verlust der Bewegung ist allezeit unvermeidlich, insbesondere da man die Hebelchen auf beiden Seiten der Scheibe berücksichtigen muſs.

Ich selbst habe zwei Mechanismen zur Selbststeuerung des Hahns bekannt gemacht und einen derselben bei einer zweistiefeligen Luftpumpe ausführen lassen. Das Stirnrad A ist das nämliche, wodurch zugleich beide Windenstangen in die Höhe gehoben werden. In die Zähne desselben greift das kleine Züngelchen a, wird zur Seite gedrückt und bewegt mit seinem andern Arme die längere Hebelstange b b, welche in einem Charniere der horizontalen gezahnten Stange d d so beweglich ist, dafs das kleine Bogenstück bei e stets mit der Oberfläche derselben in Berührung bleibt. Die gezahnte Stange d d läuft unter zwei kleinen Röllchen, um nicht durch den Widerstand der Hahnenräder gehoben zu werden, auch hat sie zwei durch punctirte Linien angedeutete Seitenleisten, welche ihr Abgleiten von den Rädern verhindern. Endlich ist der Stützpunct c der langen Hebelstange etwas weniges verschiebbar, um die Längen der beiden Hebelarme so zu reguliren, dafs die Hahnen gerade eine Viertelsumdrehung erhalten. Indem also die Kolbenstange beim Anfange ihrer auf- oder abwärts gehenden Bewegung einen todten Gang hat, so sieht man leicht, dafs bei jeder beginnenden Drehung des Rades A durch die Kurbel der Luftpumpe, sey es im Anfange, am Ende oder in der Mitte des Kolbenhubes, die Hahnen erst gedreht werden müssen, bevor der Embolus in Bewegung gesetzt wird, auch darf man die Stange d d nur etwas in die Höhe heben und den Hahnen eine Viertelsumdrehung geben, um die Maschine zur Condensation zu benutzen [1].

Fig. 74.

Obgleich dieser Mechanismus eben so einfach als zweckmäfsig und dauerhaft ist, so zeigten sich doch in der Anwendung desselben zwei Mängel. Zuerst nämlich ist zwar der obere Hebelarm der kleinen Zunge a so kurz, dafs die Zähne des Rades, wenn er aus ihnen ausgelöst ist, wie auf einer geneigten Ebene über ihm hingleiten, indefs entsteht doch für jeden folgenden allezeit ein kleiner Zwischenraum, und da er gegen das Rad federn mufs, damit dessen Zähne ihn nicht in der Richtung seiner Längenaxe fassen und zerbrechen, so giebt dieses ein unangenehmes Klappern. Zweitens aber mufs die Stange b b sehr stark seyn, wenn sie bei ihrer Länge nicht federn soll, und selbst bei grofser Stärke derselben ist dieses nicht ganz vermeid-

1 G. LXVIII. 60.

lich, weil bei gröſserer Kälte das Fett der Hahnen allezeit etwas weniger schlüpfrig wird. In Beziehung auf diesen letzteren Umstand scheint mir eine früher angegebene[1] Vorrichtung, nämlich eine Stange mit so viel Zähnen an ihrem oberen Ende, als durch das Triebrad der Kurbel gefaſst und bewegt werden müssen, wenn die unten befindlichen Zähne der nämlichen Stange den Sector des Hahns um 90 Grade drehen sollen, den Vorzug zu verdienen. Soll aber zugleich der Zweck erreicht werden, daſs die oberen Zähne der Stange bei jeder Wendung der Kurbel sogleich in die des Rades eingreifen, so muſs die Stange durch eine federnde Kraft der jederzeitigen Bewegung des gezahnten Rades entgegenstreben, damit ihre Zähne beim Rückgange desselben sogleich in die Vertiefungen des Rades fallen und aufgezogen werden, wodurch dann gleichfalls ein Klappern entsteht. Inzwischen hat v. Horner diesen letztern Vorschlag auf eine sehr sinnreiche Weise verbessert und, was das Wesentlichste ist, durch wirkliche Ausführung bewährt gefunden. Auf meine Bitte erhielt ich von ihm die nachfolgende Beschreibung der nach seiner Angabe gebauten Luftpumpe. *M.*

Die hier zu beschreibende Luftpumpe verdankt ihre Existenz einer glücklichen Idee des Hofr. Muncke, welche er bereits vor 18 Jahren[2] dem Publicum mitgetheilt hat. Es ist eine doppeltwirkende Hahnenluftpumpe und ihr Vorzug besteht einerseits in der Steuerung der Hahnen, die ohne Zuthun des Experimentators durch die Kurbel selbst verrichtet wird, und andererseits in der möglichsten Verkleinerung des schädlichen Raumes zwischen Hahn und Stiefel der Pumpe. Auf der Axe A befindet sich solid befestigt das gezahnte Rad B, welches in die gezahnte Stange D D eingreift und diese um einen gewissen Raum f g hebt oder senkt. Daſs bei fortgesetzter Drehung der Kurbel dieser Raum nicht überschritten werden könne, wird durch die in f und g an der Stange angebrachten federnden Zähne verhütet, an welchen nach der einen Richtung das Rad B immer mit einem knitternden Geräusche vorbeigleitet, bereit, bei umkehrender Bewegung sogleich von denselben gefaſst zu werden, um die Stange D in entgegengesetzter Richtung fortzuschieben. Dieses Rad befindet sich nahe am Ende der Axe, dergestalt,

Fig. 75.

1 G. XLII. 387.
2 Ebendaselbst.

dafs es im Grundrisse mit dem Rade E in einer Verticalebene liegt. Das Rad C hingegen, welches den Embolus der Luftpumpe bewegen soll, ist mitten über dem Cylinder auf der Axe A aufgestellt. Es ist mit einer starken stählernen Hülse h h versehen, so dafs es frei um die cylindrische Axe sich drehen kann. An dem einen Ende ist aus dieser Hülse ein Raum von etwa einem Quadranten ausgeschnitten, um der Bewegung eines auf der Axe A befestigten stählernen Pflockes i freies Spiel zu gestatten. So wie nun die Kurbel bewegt wird, dreht sich auch das Rad B und verschiebt die Stange D D um den vorgeschriebenen Raum. Dadurch werden die Hahnen der Luftpumpe gehörig eingestellt, ehe der Kolben aus seiner Stelle geht. Denn das Rad C, von den Zähnen der Kolbenstange festgehalten, geräth erst dann in Bewegung, wenn der Pflock i mit dem festen Rande h der Hülse in Berührung kommt, und mufs der Drehung der Axe so lange folgen, bis durch eine rückkehrende Bewegung derselben der Pflock i von der Hülse sich wieder entfernt. In dem nämlichen Momente wird auch der federnde Zahn f von der umkehrenden Bewegung des Rades B ergriffen, die Stange D, welche, seitwärts an der Luftpumpe heruntergehend, in die gezahnten Räder E und E′ eingreift, dreht die an ihnen befestigten Hahnen um 180 Grade um und verschliefst oder öffnet die Verbindung des Recipienten mit dem Evacuationscylinder.

Fig. 77.

Fig. 75.

Fig. 76.

Der Wunsch, einen doppeltarbeitenden Cylinder zu haben, machte es nothwendig, den obern Hahn e an den Rand des Stiefels anzubringen, und hierau folgte dann auch von selbst die Convenienz, mit dem untern Hahne e′ das Nämliche zu thun. Durch diese Tangentialberührung ergab sich zugleich die Möglichkeit, den schädlichen Raum möglichst zu vermindern, indem, wenn auch die Metallstärke dicht bei der Hahnöffnung sehr gering war, sie dennoch ringsum sogleich beträchtlich zunahm, so dafs gleichwohl der Hahn fest umschlossen blieb; ein Umstand, der für seine gute Verschliefsung nicht unwichtig ist. Bei der nach diesem Entwurfe ausgeführten Luftpumpe stand der Hahn nur $\frac{1}{10}$ Lin. vom Embolus ab; wegen der beiden einander entgegenstehenden Convexitäten mochte der Rand der 1,8 Lin. im Durchmesser haltenden Oeffnung im Stiefel etwa $\frac{1}{4}$ Lin. Tiefe haben, woraus sich die mittlere Tiefe des schädlichen Raumes zu etwa 0,23 Lin. ergiebt, was mit der Kreisfläche von

1,8 Lin. Durchmesser multiplicirt 0,6 Kub. Lin. Inhalt ausmacht. Der Stiefel selbst hatte 36,5 Lin. Durchmesser und 148,6 Lin. arbeitende Höhe, mithin einen Inhalt von 155487 Kub. Lin. Hieraus folgt die Grenze der Verdünnung $= \frac{1}{259000}$. Es möchte nicht schwer seyn, den schädlichen Raum noch geringer zu machen. Man könnte sogar aufserhalb des Cylinders eine kleine Ventil-Pumpe anbringen, welche, durch einen engen Seitencanal mit dem schädlichen Raume in Verbindung gesetzt, denselben durch das Spiel der Stange D exantlirte. Allein dieses würde nicht nur eine Vergröfserung des schädlichen Raumes nöthig machen, sondern auch durch die Gemeinschaft mit einer kleinern, weniger dichten Pumpe der genauen Verschliefsung, auf welche so vieles ankommt, Gefahr drohen. Eben dieses Umstandes wegen zeigte es sich auch, obgleich der Hahn sorgfältig eingeschliffen war, von erheblichem Nutzen, bei K ein festschliefsendes Klappenventil anzubringen, welches jedesmal von der condensirten Luft aufgesprengt wurde. Wäre man im Stande, einen völlig luftdichten Hahn zu machen, welcher dem Drucke der ganzen Atmosphäre widerstände, so würde es auch nicht schwer fallen, vermittelst eines durchbohrten Charniers abgekürzte, sehr tragbare Barometer zu verfertigen, was meines Wissens noch Niemandem gelungen ist. Der Hahn selbst ist in paralleler Richtung zweimal unter einem Winkel, der 45° mit seiner Axe bildet, durchbohrt; die Oeffnung ist nahe zwei Linien weit, was für schnelle Evacuation keineswegs zu viel ist; die Leitröhren l und l′ sind noch etwas weiter. Das Rad E bewegt sich sehr solid zwischen den festen Stücken m und m′ und ist mit dem Hahne durch einen Vierkant nach Art der Uhrschlüssel oder auf eine andere Weise so verbunden, dafs es keinen Druck noch Zug auf denselben ausübt. Der Kolben K, dessen Deckplatten in den oberen und unteren Boden der Pumpe genau eingeschliffen werden müssen, so wie die Lederbüchse, sind von der gewöhnlichen Einrichtung. Will man die Pumpe zum Comprimiren gebrauchen, so hat man nur die zwei Räder E und E′ mit den daran befindlichen Hahnen um 180° zu versetzen, wodurch die Verbindungen des Cylinders mit dem Recipienten und der freien Luft umgekehrt werden.

Fig. 77. Fig. 76.

Fig. 73. Das Gestelle dieser Luftpumpe bildet eine vierseitige abgestumpfte Pyramide, deren Kanten aus zwei Zoll starken Balken von

hartem Holze bestehen und deren Grundflächen Rectangel bilden. Die Dimensionen des untern Rectangels sind 2¼ und 1¼ par. Fuſs; die des obern, das ein solides Bret von 2 Zoll Dicke ausmacht, halten 1¼ und 1 Fuſs. Ueber diesem Brete in einer Höhe von 4¼ Fuſs vom Boden befindet sich der Teller der Luftpumpe, während Stiefel und Kolbenstange im Innern des Gestelles angebracht sind. Da, wenn der Kolben etwas hart geht, durch die Kraft des Getriebes das starke Fuſsbret, auf welchem die Pumpe steht, etwas heruntergedrückt und vom oberen Brete entfernt werden könnte, was störende Dehnungen der Leitröhre l zur Folge hätte, so ist darauf zu sehen, daſs der Steg, auf welchem die Axe A liegt, auf jeden Fall nachgebender sey, als das Bodenbret, welches den Cylinder trägt. Eine nach dieser Anordnung verfertigte Luftpumpe bringt das abgekürzte Barometer auf eine halbe Linie und noch tiefer hinab. Ihre Ausführung hat keine gröſsern Schwierigkeiten, als die jeder andern Hahnenluftpumpe, und sie läſst auch, da die Hahnen in den Deckelstücken des Cylinders angebracht sind, die Anwendung gläserner Stiefel zu. Ihre Behandlung erfordert keine besondere Aufmerksamkeit und ihre Dauerhaftigkeit ist nicht geringer, als bei den andern Constructionen. *H.*

Die hier mitgetheilte Construction empfiehlt sich besonders durch die zweckmäſsige Selbststeuerung der Hahnen und das einfach gewählte Mittel, wodurch ein todter Gang der Axe für die Zeitdauer erreicht wird, während welcher die Umdrehung der Hahnen geschieht. Der noch bleibende schädliche Raum ist der mitgetheilten Berechnung gemäſs von gar keiner Bedeutung; wollte man indeſs darauf bestehen, ihn ganz wegzuschaffen, so steht hierbei das Hinderniſs im Wege, daſs die den Hahn nach der Seite des Stiefels hin umschlieſsenden Wandungen ungleich dick und um die Oeffnung scharf werden, welches wohl ohne Zweifel dem genauen Schlieſsen des Hahns Abbruch thut. Schon vor der Mittheilung dieser Beschreibung hatte ich daher folgende Construction ersonnen, wobei ich bloſs den todten Gang der Axe vor jeder Bewegung des gezahnten Rades der Kolbenstangen nach v. Horner aufgenommen habe, statt diesen, wie früher, in die Kolbenstangen zu legen.

Die Durchschnittszeichnung stellt den oberen und unteren Theil des Stiefels einer eigentlich zweistiefeligen, doppelt wirkenden Maschine dar, dessen innerer Durchmesser 3 Zoll bei Fig. 79.

einer Höhe von 18 Zollen par. Mafs beträgt, wonach aber die einstiefeligen, doppelt oder einfach wirkenden, leicht zu construiren sind. AA', BB' bezeichnen die Wandungen des Stiefels, CC' und DD' das Bodenstück und das obere Deckelstück, alles blofs aus Messing und ohne zwischenliegendes Leder durch genaues Aufschleifen der sich berührenden Flächen luftdicht schliefsend. Der Embolus wird unten näher beschrieben werden und es genügt daher hier nur zu bemerken, dafs β der Konus am unteren Theile des Embolus ist, welcher in die Vertiefung b des Bodenstückes bis auf den Hahn x herabgeht, und eben so α und a für die obere Fläche des Embolus und den Hahn y in dem eingeschraubten Stücke E. Bei beiden bezeichnet λ und λ' den um 90 Grade von der ganzen Durchbohrung des Hahns abstehenden zweiten Canal, durch welchen die unter und über dem Embolus befindliche Luft ins Freie ausgetrieben wird. Es ist klar, dafs durch solche, bis auf die Fläche der Hahnen reichende abgekürzte Kegel aller schädliche Raum gänzlich vermieden wird. Die Kolbenstange H, welche unten mit dem Gewinde l in den Embolus eingeschraubt wird und oben mit der gezahnten Stange K verbunden ist, bedarf keiner Erklärung, dagegen verdient noch die Stopfbüchse $\nu\nu'$ eine besondere Erwähnung. Minder geübte Künstler können eine gewöhnliche Lederbüchse oben mit einem Oelschälchen anbringen, allein die Erfahrung zeigt, dafs in diesem Falle das Oel mit der Zeit dickflüssig und zähe wird, sich an die Stange hängt und leicht Beschmutzungen veranlafst, aufserdem aber das Messing angreift, denn der vom Oele umgebene Theil der Kolbenstange wird rauh und merklich angefressen. Dieses kann vermieden werden, wenn die Kolbenstange genau cylindrisch gearbeitet und abgeschmirgelt, der luftdichte Verschlufs aber durch dichtes Anschliefsen des Metalles erreicht ist. Dieses geschieht auf folgende Weise. Bei der Vorrichtung $\nu\nu'$ sieht man einen oben scharf zulaufenden Ring die Kolbenstange umgeben. Dieser schliefst schon an sich luftdicht, allein es wird über diesen ein zweiter, inwendig etwas konischer Ring gesteckt und durch eine Schraube herabgedrückt, welcher den dünnen inneren Ring stets die Kolbenstange luftdicht umschliefsen macht. Die Stange wird dann blofs von Zeit zu Zeit etwas mit Pomade überstrichen, und damit sich kein Staub oder kein Sandkörnchen zwischen die Metallflächen dränge, wird unter den oberen Rand der äufseren

Schraube eine einfache, die Stange umgebende Scheibe Leder gelegt, um das Eindringen solcher Körper zu verhindern.

Das Getriebe nebst der Selbststeuerung der Hahnen ist gleichfalls für eine doppeltwirkende, zweistiefelige gezeichnet. Das gezahnte Rad C greift in die gezahnte Verlängerung der Kolbenstange K ein, hebt diese abwechselnd und drückt sie nieder. Dasselbe ist auf der nämlichen Axe mit dem zweiten Rade D unbeweglich festsitzend, letzteres aber, der leichteren Exantlirung wegen von gröſserem Halbmesser, wird durch ein auf der Axe hinter dem Rade A befindliches, in der Figur nicht wohl darstellbares Getriebe in Bewegung gesetzt[1]. Es darf hierbei nur kurz bemerkt werden, daſs dieses Getriebe nach v. Horner's Einrichtung auf der Axe beweglich ist, folglich bei jeder anfangenden, vor- oder rückwärts gehenden Drehung derselben so lange ruht, bis ein auf der Axe festsitzender, um 120 Grade weggenommener Ring gegen einen Zapfen des Getriebes faſst und denselben umdreht, damit während dieses Stillstandes zuvor die Steuerung der Hahnen bewerkstelligt wird. Letzteres geschieht durch das Rad A, welches die gezahnte Stange a a hebt oder niederdrückt, deren Verlängerungen bei b b und c c gleichfalls mit Zähnen versehen sind, um die Hahnenräder E und F um 90 Grade umzudrehen. Weil die Axen der Hahnen nicht in derselben verticalen Ebene liegen, so ist der zwischenliegende Theil f f der Stange etwas gebogen, welches aber bei einer Länge von mehr als 18 Zollen kaum merklich wird. Unten befindet sich in einer durch die Axe des Rades A gelegten verticalen Ebene der Mittelpunct G eines zweiarmigen Hebels G H mit dem Bodenstücke d d. Dieses dient nicht bloſs dazu, das Getriebe der Stange gegen die Zähne des Rades F zu drücken, sondern auf demselben sind auch die Schienen $\alpha\,\alpha$ befestigt, welche zwischen sich das mit einem Röllchen versehene Zäpfchen γ fassen und dadurch mit der Stange c c zugleich auf und ab bewegt werden. Bei den zweistiefeligen Luftpumpen befindet sich an der anderen Seite des Rades A ein ganz gleicher Mechanismus, als welcher hier nur an der einen mitgetheilt ist, und so hat dann der Hebel G H an der andern Seite gleichfalls

Fig. 80.

1 Die Zeichnung wird deutlich, wenn man berücksichtigt, daſs sie von der zweistiefeligen Luftpumpe den links stehenden Stiefel darstellt.

ein solches Bogenstück und zwei Schienen, welche auf die andere Stange greifen; beide Stangen sind auf diese Weise verbunden und werden daher nie bloſs herabgedrückt, sondern zugleich von der andern gezogen, so daſs sie schwächer und doch in ihrer Wirkung sicher seyn können.

Daſs eine bloſse gezahnte Stange, wie a a, zur Selbststeuerung nicht genüge, liegt in der Natur der Sache. Ist nämlich der letzte Zahn der Stange so hoch gehoben, daſs der hebende Zahn des Rades und somit auch jeder folgende an ihm vorübergeht, so findet beim Rückgange des Rades kein Eingriff statt, mithin steht dieser Mechanismus still. Um dieses zu vermeiden und den Eingriff bei jedesmaliger rückkehrender Bewegung sicher zu erhalten, hat v. Horner den ersten und letzten Zahn der Stange a a federnd gemacht, wobei sich von selbst versteht, daſs die Stangen b b und c c eines solchen Hülfsmittels nicht bedürfen, da man den gezahnten Theil derselben so lang machen kann, daſs ihre äuſsersten Zähne aus denen des Rades nie völlig ausgelöst werden. Das Klappern, welches durch den federnden Zahn nothwendig erzeugt werden muſs, scheint mir ein zu unbedeutender Uebelstand zu seyn, als daſs man diesen übrigens so sichern Mechanismus deswegen aufgeben sollte, obgleich sich wohl eine Vorrichtung anbringen lieſse, um dasselbe zu vermeiden, welche jedoch auf jeden Fall einen todten Gang der Axe im Rade A erfordern und den Bau des ganzen Steuerungs-Apparates seiner Einfachheit und groſsen Sicherheit berauben würde.

b) Ventil-Luftpumpen.

Die Luftpumpen mit Blasenventilen, gleichviel ob deren Bedeckung von Thierblase oder geöltem Taffent gemacht war, hatten durch Nairne und Blunt und zur nämlichen Zeit durch Haas und Hurter eine solche Vollendung erreicht, daſs spätere Künstler mit Beibehaltung des von Smeaton im Allgemeinen angegebenen, von den genannten Mechanikern etwas abgeänderten Mechanismus nur darauf bedacht waren, sie in möglichster Vollkommenheit darzustellen. Man pflegt daher die Blasenventil-Luftpumpen schlechthin *Smeaton'sche* zu nennen und es lassen sich nur wenige auf die eine oder die andere Weise abgeänderte Blasen-Ventil-Luftpumpen aufzählen, die als vor-

züglich ausgezeichnet näher bekannt geworden sind. Cavallo[1] beschreibt eine von Haas für ihn verfertigte von ausgezeichneter Wirkung, ein grofses Lob aber hat insbesondere in früheren Zeiten die durch den Nordamericaner Prince angegebene erhalten, welche Adams[2] vor allen andern empfiehlt und schlechthin mit dem Namen der *doppeltstiefeligen Americanischen Luftpumpe* benennt. Das Wesentliche ihrer Construction besteht darin, dafs das Bodenventil ganz fehlt, um durch dieses den freien Eintritt der Luft in den evacuirten Stiefel nicht zu hindern, da es durch das Ventil im Deckel des Stiefels ersetzt werden soll, indem die Luft aus dem Recipienten von selbst den über dem Embolus bei dessen Herabgehen entstehenden leeren Raum auszufüllen strebt.

Um diese Strömung noch mehr zu erleichtern, ist jeder Embolus mit drei Löchern versehen, um die unter ihm befindliche Luft durchzulassen, wobei aber die auf seiner oberen Platte befindlichen drei Blasenventile den Rückgang der Luft beim Aufziehen desselben hindern. Aufserdem geht der Embolus jedes Stiefels so tief herab, dafs bei seinem tiefsten Stande der vom Recipienten in den Stiefel führende Canal mit seiner Oeffnung sich genau über ihm befindet, so dafs also das freie Einströmen der Luft in denselben durch gar kein Hindernifs gestört wird. Weil endlich der Druck der äufseren atmosphärischen Luft auf die Ventile in den Deckeln der Stiefel das Oeffnen derselben erschwert und aus dieser Ursache nicht wohl ein vollkommen luftleerer Raum über den Kolben gebildet werden kann, so gehen beide Röhren aus den oberen Theilen der durch Ventile verschlossenen Stiefel in eine gemeinsame vereint in einen dritten kürzeren Stiefel, welcher auf die nämliche Weise, als die eigentlichen, gebaut und mit einem gleichen Embolus versehen ist. Werden also die beiden Kolbenstangen der Hauptstiefel durch die gemeinschaftliche Kurbel abwechselnd auf- und abwärts bewegt, so drücken sie die über ihnen befindliche Luft durch die Ventile im Deckelstücke, von wo aus

---

1 Journ. de Phys. XXV. p. 261.

2 Lectures on Natural and Experimental Philosophy. Lond. 1799. IV Theile und I Theil Kupfer. T. I. p. 44 und p. 148 ff. Sie ist zuerst beschrieben in American Trans. T. I. Boston 1785. Hieraus in Nicholson's Journal. T. I. p. 119. T. VI. p. 236. und durch Adet in Ann. de Chim. XXV. p. 126. G. I. 357.

sie in den dritten Stiefel gelangt, indem sie entweder oberhalb seines Embolus einströmt, wenn dieser seinen tiefsten Stand einnimmt, oder unterhalb desselben, und dann durch dessen Ventile, zuletzt aber auf jeden Fall aus der mit einem Blasenventile verschlossenen Ableitungsröhre in das Oelgefäfs der Smeaton'schen Luftpumpen entweicht. Zur Erreichung einer stärkeren Verdünnung wird auch der Embolus des dritten Stiefels durch ein eigenes Getriebe bewegt, um hierdurch ein möglichst vollkommenes Vacuum über den Hauptstiefeln zu erzeugen. Die Wirksamkeit dieser Luftpumpe beruht auf der Voraussetzung, dafs Blasenventile schlechthin keine Luft durchlassen, was mir jedoch keineswegs absolut gewifs scheint und auch im vorliegenden Falle wohl nicht mit Sicherheit erwartet werden kann, obgleich alle vier abgesonderte Ventile sich gegenseitig unterstützen. Aufserdem macht die Bewegung der zweiten Kurbel die Operation des Exantlirens zusammengesetzter und auch ohne dieses scheint es mir überflüssig, noch diejenige Vorrichtung zu beschreiben, wodurch diese Luftpumpe, nach Art der Smeaton'schen, zugleich zum Condensiren eingerichtet ist[1].

Geübte und erfahrne Mechaniker machen die Blasenventile leicht und schnell, sie erfordern aufserdem keinen künstlichen Mechanismus der Steuerung und gestatten eine leichte Bewegung des Embolus, daher trifft man die mit ihnen versehenen ein- oder zweistiefeligen Luftpumpen in kleineren und gröfseren Dimensionen häufig, wenn es nicht darum zu thun ist, ausgezeichnet starke Verdünnungen zu erhalten. Fortin unter andern hat mehrere, namentlich kleinere, dieser Art verfertigt, die aber von der eigentlichen nach diesem Künstler benannten, später zu beschreibenden, zu unterscheiden und *Fortin'sche Blasenventil-Luftpumpen* zu nennen sind.

Cuthbertson's Metall-Ventil-Luftpumpe ist wohl ohne Zweifel eine Erfindung dieses geschickten Künstlers. Dennoch

1 Eine ausführliche Beschreibung und ausgezeichnet schöne Zeichnung dieser sonst nicht oft erwähnten Luftpumpe giebt Barlow in Encyclopaedia Metropolitana. Lond. 1829. Art. Pneumatics p. 373, wo derselben die durch Nicholson in Philos. Journ. T. I. bereits angegebenen Vorzüge gleichfalls zugestanden werden. Indefs mufs sie in England dennoch nicht grofsen Beifall gefunden haben, denn sie ist mir nirgends zu Gesichte gekommen.

behauptet Adet[1], daſs Ami Argand schon früher, nämlich 1776, die nämliche Idee gehabt und einen Embolus mit dieser Vorrichtung habe verfertigen lassen. Wie dem auch sey, so werden die Luftpumpen mit diesen oder ähnlichen Kegelventilen fortwährend, wie bisher, *Cuthbertson'sche* genannt werden. Dem oben gerügten Mangel derselben, daſs nämlich der schädliche Raum bei ihnen nicht ganz beseitigt ist, suchte zuerst Schrader abzuhelfen, allein seine Luftpumpe ist eigentlich eine ganz eigenthümliche mit Kegelventilen[2]. Der im verticalen Durchschnitte dargestellte Stiefel A B war 3 Z. weit und 22 Z. lang, der Embolus C, ohne Durchbohrung und Ventil, wurde wie gewöhnlich durch eine gezahnte Stange vermittelst eines Getriebes und einer Kurbel auf- und abwärts bewegt. Nahe über dem Boden befindet sich seitwärts das metallene Kegelventil in einer Röhre P, welches durch die gegen den aufgeschraubten Deckel sich stemmende Spiralfeder fest angedrückt wird. Am Boden des Ventils ist ein Draht eingeschraubt, dessen eines Ende mit einer über zwei Rollen gezogenen und an den Hebelarm G geknüpften Schnur zusammenhängt. Der Hebelarm G H ist um den Stützpunct H an einer der Säulen, welche den Teller tragen, beweglich, sein entgegengesetztes Ende aber wird von Stiften gefaſst, die auf der breiten Seite der gezahnten Stange in Abständen von 3 Zollen angebracht sind und beim Herabgehen des Embolus den Hebelarm niederdrücken, durch Anziehen der Schnur das Ventil öffnen und der Luft den freien Ausgang verstatten. Die obere Oeffnung des Stiefels ist verschlossen, indem die Stange durch die Lederbüchse D geht; es befindet sich jedoch im Deckel ein metallenes Kegelventil in der Röhre F, welches gleichfalls durch eine Feder angedrückt wird und einen an einer höheren Hebelstange befestigten Faden hat. Auch dieser Hebel ist um den Stützpunct X beweglich, wird durch Stifte gehoben, welche auf der andern Fläche der gezahnten Stange festsitzen, und damit diese sie beim Herabgehen nicht niederdrücken, sondern beim Aufsteigen bloſs heben, hat

Fig. 81.

---

1 Ann. de Chim. XXV. 126. Er beruft sich auf das Zeugniſs des Sigaud de la Fond in Leçons élémentaires de Phys. T. III.

2 Beschreibung einer neuen und vollkommenern Einrichtung der Luftpumpe. Flensburg und Leipzig 1791. 8. Abgekürzt in Gren's Journ. d. Ph. III. 357.

die Stange bei I ein Charnier, in welchem blofs die eine Hälfte derselben sich bewegt, da das andere Ende zwischen I und X auf einem Stützpuncte ruht, eine Feder aber stellt nach jeder Herabdrückung die gerade Richtung wieder her.

An der dem Ventile in P entgegengesetzten Seite des Stiefels befindet sich ein drittes, für die Exantlirung unmittelbar bestimmtes Ventil, da die beiden eben beschriebenen zunächst nur zur Wegschaffung der Luft aus dem Stiefel dienen. Dieses steht vom Deckel des Stiefels gerade so weit ab, als die Dicke des Embolus beträgt, damit es sich genau unter diesem befinde, wenn er mit seiner oberen Fläche die Deckelplatte des Stiefels berührt. Bei diesem Ventile ist die Basis des Kegels nach Innen gekehrt und das kleine Rohr inwendig genau gebohrt und geschliffen, damit ein kleiner Stempel vollkommen luftdicht darin schliefse. Das Stück Metall, in welches der Kegel eingeschliffen ist, hat einen nach aufwärts gehenden Canal, wodurch die Kegelventil-Oeffnung mit dem oberhalb angesetzten Communicationsrohre in Verbindung steht. Dieses nämliche Stück hat als Fortsetzung die horizontale Röhre K, worin der Draht L mit einem Knopfe in einer Lederbüchse sich luftdicht bewegt, und aufserdem befindet sich darin die Spiralfeder, welche das Ventil anzieht, aber etwas stärker ist, als die der beiden andern Ventile. An der inneren Seite des Stiefels darf übrigens keine Vertiefung seyn, vielmehr sind die Ventile so genau zu arbeiten, dafs die innere Fläche des Stiefels vollkommen glatt ist.

Der Mechanismus und die Bestimmung aller Theile dieser Luftpumpe ergeben sich jetzt von selbst. Wird nämlich der Embolus in die Höhe gewunden und hat er den obern Deckel erreicht, so drückt man gegen den Knopf L, damit die Luft aus dem Recipienten in den Stiefel ströme, bis man mit dem Drucke nachläfst und die Verbindung wieder geschlossen ist. Alsdann wird der Embolus niedergewunden, die Stifte der gezahnten Stange ergreifen den Hebelarm GH, drücken ihn nieder, öffnen dadurch das Ventil in P und die im Stiefel befindliche Luft entweicht ins Freie. Ueber dem Embolus ist aber ein leerer Raum entstanden, in welchen durch einen wiederholten Druck gegen L die Luft aus dem Recipienten strömt. Nach abermaliger Verschliefsung des Ventils in K wird der Embolus wieder in die Höhe gewunden, wobei das Ventil in F durch den Hebelarm J sich öffnet und die Luft ins Freie entweichen läfst.

Schrader begegnet bei seiner mit vielem Beifalle aufgenommenen Luftpumpe dem Einwurfe, daſs die Federn leicht lahm werden könnten, durch die Erfahrung, daſs dieses bei den seinigen, aus bloſsem Eisendrahte verfertigten und nachher gehärteten, der Fall nicht gewesen sey, und auſserdem ist der Mechanismus dauerhaft, auch versprach er eine solche Luftpumpe, womit er die Verdünnung bis auf 0,5, ja selbst bis 0,25 Lin. Differenz der Quecksilberhöhe gebracht haben will, für den geringen Preis von 80 Thalern zu liefern; allein es lassen sich dennoch einige Mängel derselben keinen Augenblick verkennen. Zuerst nämlich ist es überall nicht oder mindestens kaum zu erreichen, daſs die Ventile und die Ränder ihrer Hüllen so genau gearbeitet und bei der unvermeidlichen Verdickung des Oeles und fortgesetzter vielfacher Bewegung unausgesetzt in einem solchen Zustande zu erhalten seyn sollten, um mit den Wandungen des Embolus fortwährend eine vollkommen glatte Fläche zu bilden, um so mehr, als diese Fläche nicht gerade, sondern gekrümmt ist. Sobald aber die Kegel oder die Ränder der Ventile vorstehen, greifen diese bei ihrer Schärfe den Embolus an und die abgeschabten Theile desselben setzen sich zwischen die Fugen. Auſserdem aber wird zwar im Anfange des Exantlirens die Luft aus dem Stiefel durch die Ventile in P und F ausströmen, bei zunehmender Verdünnung aber strömt sie gleich nach dem Oeffnen derselben vielmehr ein und man hat bei jeder Bewegung des Embolus vom Anfange an bis ans Ende einen stärkern Druck gegen denselben, als den ganzen atmosphärischen zu überwinden, welcher insbesondere am Ende jeder Bewegung durch die Verkleinerung des im Stiefel zurückbleibenden Raumes bis zum doppelten atmosphärischen Drucke und darüber wachsen kann. Endlich aber ist das stete Oeffnen des Ventiles in K mit der Hand und das Stoſsen der Stifte gegen die Hebelarme G und I mindestens sehr unangenehm.

Reiser hat eine Construction für ein- und zweistiefelige Luftpumpen angegeben[1], wovon das Wesentlichste eine kurze Anzeige verdient, da sie in allen übrigen Theilen die gewöhnliche Einrichtung erhalten können. Die Beschreibung des Er-

1 Nachricht von einigen neuen Vorrichtungen bei physikalischen Experimenten u. s. w. Basel 1790. 8. Im Auszuge in Lichtenb. Mag. Th. VII. St. 2. S. 49.

finders nebst der beigefügten Zeichnung macht den Mechanismus minder deutlich, allein mir ist ein sehr gutes Exemplar bekannt, welches von Stegmann und Schubarth gearbeitet sich im physikalischen Cabinette zu Marburg befindet und noch bei meiner Anwesenheit daselbst, also nach langem Gebrauche, eine Verdünnung bis nahe 0,25 Lin. Quecksilberdifferenz mit Sicherheit gab, wozu ohne Zweifel der Umstand hauptsächlich mit beitrug, dafs statt der ursprünglichen Einrichtung, die Luft frei auf den Embolus drücken zu lassen, die Kolbenstange vielmehr in einer Lederbüchse ging, wonach also die Luft unter demselben leichter durch das Ventil im Embolus in den leeren Raum über demselben dringen konnte, indem im Deckel des Stiefels sich gleichfalls nach Cuthbertson's Angabe ein Blasenventil befand. Was für ein Ventil im Embolus angebracht wird, ist eigentlich von minderer Wichtigkeit; Reiser wollte eine Art Kugelventil oder einen auf einer ebenen Fläche ruhenden Cylinder wählen, welchen die unter dem Kolben befindliche Luft heben sollte, allein ein Cuthbertson'sches Kegelventil ist offenbar vorzuziehen und für einen geübten Mechaniker in dieser Einfachheit, nämlich ohne den durchgehenden Draht des Bodenventils, keineswegs als eine zu schwierige Aufgabe zu betrachten; auch ist der Fehler, welchen Reiser ihm vorwirft, nämlich dafs das vorstehende Stück Konus die Fläche des Embolus verhindere, mit der Fläche des Bodenstückes im Stiefel in unmittelbare Berührung zu kommen, durchaus ungegründet, da vielmehr der herabgedrückte Konus mit der unteren Ebene des Embolus zusammenfallen mufs, in welchem Falle dann der geringe den Konus umgebende Raum, insbesondere beim schnellen Aufziehen desselben, von gar keiner Bedeutung seyn kann. Die Hauptsache beruht aber auf einer sorgfältigen Verfertigung des Bodenventils. Dieses besteht aus einem metallenen Kegel c, welcher in das Bodenstück des Stiefels so genau eingeschliffen seyn mufs, dafs man beim Geschlossenseyn desselben, wenn man mit der Hand über die gemeinschaftliche Fläche hinfährt, durchaus weder eine Erhabenheit, noch eine Vertiefung bemerkt und selbst mit dem Auge blofs die kaum sichtbare schwärzlich gezeichnete Grenze beider Metalle als feine Kreislinie wahrnimmt. Für diesen Zweck ist es gewifs vortheilhaft, dem Ventile die Gestalt eines ungleich stumpferen Konus zu geben, als dieses nach Reiser geschehen soll, wodurch zugleich bewirkt wird,

Fig. 82.

dafs eine geringere Hebung desselben einen gröfseren Raum zum Durchströmen der Luft darbietet. Der messingne Konus läuft in einen etliche Zoll langen Cylinder aus, welcher durch den bis unter den Recipienten vermittelst eines Rohrs fortlaufenden Raum a a und dann völlig luftdicht durch die Lederbüchse d d bis durch das Bodenstück herabgeht, wo auf denselben ein Knopf geschraubt ist, damit die Feder b b ihn mit bedeutender Stärke herabzieht, so dafs das Ventil im gewöhnlichen Zustande eng verschlossen gehalten wird. Gegen den hervorstehenden Knopf drückt der eine Arm der Hebelstange g g′, welche in m ihren Stützpunct hat, am Ende g aber mit der verticalen Stange h h verbunden ist, deren anderes Ende in den oberen horizontalen Hebel p p′ eingreift, dessen Stützpunct sich in n befindet und welcher durch die beiden Federn *α α* stets in horizontaler Lage erhalten wird, so dafs ihn das Gewicht der Stange h h nicht herabzuziehen vermag. Das Ende des Hebelarms p′, welches nicht an der Stange festsitzt, ist so weit verlängert, dafs es in die Vertiefungen der gezahnten Stange r r′ dann hineinreicht, wenn der Kolben seinen höchsten und tiefsten Stand einnimmt, und durch dieses einfache Mittel wird die mechanische Hebung und Verschliefsung des Bodenventils bewerkstelligt. Befindet sich nämlich der Embolus dicht unter dem Deckel des Stiefels, so sind die drei Hebelstangen in Ruhe, das Bodenventil aber wird durch die Feder b b fest verschlossen gehalten. Windet man den Embolus herab, so wird auch der Hebelarm p′ herabgedrückt, und die Stange r r′ hält ihn in dieser geneigten Lage, bis der Embolus den tiefsten Stand erhalten hat, das Ende p′ aber wieder in die Vertiefung r′ hineinreicht. Durch das Herabdrücken des Hebelarmes p wird zwar auch die Stange h h′ und der untere Hebel g g′ bewegt, allein diese Bewegung hat keine weitere Folge, als dafs das Ende g′ sich etwas vom Knopfe der Ventilstange entfernt; sobald man aber die Kolbenstange wieder aufwärts windet, hebt sie den Arm p′ etwas in die Höhe, die Stange h h′ sinkt herab, der Hebelarm g′ drückt gegen den Ventilknopf, hebt das Ventil ein wenig, so dafs die Luft aus dem Recipienten frei in den Stiefel dringen kann, und erhält es in dieser Lage, bis der Embolus seinen höchsten Stand erreicht hat und der Hebelarm p′ wieder in die Vertiefung r einspringt.

Dieser Mechanismus ist einer der einfachsten, die man bei

der Construction der Luftpumpen in Anwendung gebracht hat, und von mir in seiner gröfsten Einfachheit zur leichteren Uebersicht dargestellt. Bei der wirklichen Ausführung ist es besser, die Stange des Ventils blofs bis in den Raum a a herabgehen zu lassen und daselbst durch eine Feder stark herabzuziehen, dann die Lederbüchse d d von gröfserer Länge horizontal an dem Bodenstücke anzubringen und einen gesteiften Draht hindurchzuführen, welcher zwei kleine, in einer horizontalen Ebene liegende Hebelarme an beiden Enden in einer auf seine Axe perpendiculären Richtung hat, den einen auswärts, damit ihn die Stange h h′ niederdrückt, den andern am andern Ende im Raume a a, welcher gleichzeitig durch diesen Druck das Ventil hebt. Aufserdem bekommt die Hebelstange p p′ an dem Ende p′ ein Charnier, so dafs sie sich beim Herabgehen der gezahnten Stange r r′ niederbeugt, ohne die Stange h h′ in Bewegung zu setzen, welches blofs dann geschieht, wenn der Kolben aufwärts bewegt wird. Die ganze, übrigens sehr zweckmäfsige Construction hat den einzigen Fehler, dafs man allezeit die Kolbenzüge ganz vollenden mufs und nicht in jedem Momente unterbrechen kann.

Wrede[1] schlägt vor, eine Rohrwalze, wie er es nennt, zur Vermeidung der Unvollkommenheiten aller Ventile in Anwendung zu bringen. Der Stiefel steht senkrecht unter der Mitte des Tellers und in dem Halse, welcher diese beiden verbindet, liegt die Rohrwalze. Sie besteht aus einer metallenen Scheibe, welche im Innern zwei ovale Gruben hat, die vermittelst eines halbkreisförmigen Canals mit einander verbunden sind. Dieser Canal giebt, je nachdem er gestellt ist, bald die Gemeinschaft zwischen Recipienten und Stiefel, bald hebt er diese auf; auch ist in der Rohrwalze noch ein ganz durchgehendes Loch, welches 45° von der einen Grube absteht und erforderlichen Falls den inneren Raum des Stiefels mit der freien Luft verbindet. Das Spiel der Rohrwalze wird durch einen gebrochenen Hebel bewirkt, in dessen Ende ein Steigrad eingreift, welches durch die Kurbel beim Auf- und Nieder-Winden der Kolbenstange mit herumgedreht wird. Letztere ist, so weit sie in den Stiefel geht, blofs prismatisch, alsdann aber bildet sie einen Rahmen

---

1 Berlinisches Journal für Aufklärung. VII. St. 1. Apr. 1790. Abgekürzt in Lichtenb. Mag. Th. VII. St. 1. S. 117.

in Gestalt eines Rechtecks, dessen lange Seiten inwendig gezahnt sind. Die durch diesen Rahmen gehende Axe der Kurbel hat ein Schlüsselrad oder einen Kreis-Sector von 145°, auf dessen Stirn Zähne stehen; diese greifen zwischen die Zähne des Rahmens und ziehen beim Herumdrehen den Kolben auf und nieder. Die Kolbenstange tritt an der Seite, welche in das Innere des Stiefels geht, etwas aus dem Kolben hervor und bewirkt hierdurch, daſs der Raum in der Leitröhre zwischen der Oeffnung der Rohrwalze und dem Stiefel zu der Zeit völlig ausgefüllt wird, wenn der Kolben in den Stiefel zurückgetrieben ist. Durch diese Einrichtung wird aller schädliche Raum völlig vermieden. Um mit dieser Maschine die Luft sowohl zu verdünnen, als auch zu verdichten, ist nichts weiter erforderlich, als die Kurbel bald nach dieser, bald nach der entgegengesetzten Richtung zu drehen, auch kann man durch bloſses umgekehrtes Drehen, ohne einen Hahn zu gebrauchen, sogleich wieder Luft unter den exantlirten Recipienten lassen. Der Mechanismus ist sinnreich, kommt aber im Wesentlichen mit dem der Hahnluftpumpen überein, an denen sich Selbsteuerung befindet.

Einige Verbesserungen, welche die Construction der Luftpumpen dem durch seine groſse Kunstfertigkeit in kurzer Zeit sehr bekannt gewordenen Mendelssohn verdankt, werden später erwähnt werden, im Ganzen aber scheint mir die von ihm angegebene Maschine vor den neueren keine entschiedenen Vorzüge zu haben, weswegen ich eine detaillirte Beschreibung derselben übergehe[1]. Minder zweckmäſsig scheint mir zu seyn, daſs die Stiefel herabhängen und die Kolbenstangen herabwärts gehen, wodurch die Kurbel zum Drehen zu tief zu liegen kommt und der Recipient zu hoch, da der Teller noch obendrein über den Stiefeln angebracht ist; ferner sind die Stiefel unbedeckt, wie bei den älteren Maschinen, so daſs bei hoher Verdünnung der ganze Luftdruck zu überwinden ist, wodurch mindestens die Theile der Luftpumpe zu sehr leiden, und eben so werden die Kegelventile, durch welche die Luft ins Freie entweicht, durch die verdichtete Luft in den Stiefeln geöffnet; endlich aber scheint es minder zweckmäſsig, daſs das Kegelventil, welches die Oeffnung zum Recipienten verschlieſst, nicht in der Mitte,

1 Man findet diese mit Zeichnung in Nicholson's Journ. March. 1805. p. 201. Daraus in G. XXII. 96.

sondern seitwärts liegt, folglich auch die Stange desselben durch den Embolus an der einen Seite desselben geht, so dafs bei der geringsten Drehung des Embolus kein genaues Schliefsen möglich ist.

Die gewöhnlichen, meistens zweistiefeligen, zum schnellen Exantliren bestimmten Luftpumpen, welche Fortin verfertigt, sind bereits erwähnt worden; indefs müssen wohl zwei Arten mit metallenen Ventilen von diesem nämlichen Künstler noch in ihren Haupttheilen näher beschrieben werden[1]. Die eine derselben, mit Kegelventilen nach Cuthbertson, verdient weniger empfohlen zu werden. Der Embolus hat nämlich in seiner Mitte ein Kegelventil oder ein Blasenventil, um die unter demselben befindliche, aus dem Recipienten eingedrungene Luft durchzulassen, und in beiden Fällen müfste dann im Deckel des Stiefels gleichfalls ein Ventil angebracht werden. Um den Zugang zum Recipienten abwechselnd zu öffnen und zu schliefsen, ist der Embolus an der einen Seite durchbohrt und mit einer Lederbüchse versehen, in welcher die Stange $\alpha\alpha$ sich luftdicht auf- und abwärts schiebt. Diese hat am unteren Ende den Konus a, welcher die konische Oeffnung in der Bodenplatte abwechselnd öffnet und schliefst, am andern Ende aber stützt sie sich gegen den Deckel des Stiefels, damit sich der untere Konus beim Aufziehen des Kolbens nur um etwa 0,4 Linien hebt und beim Niedergehen desselben schnell wieder schliefst. Die zweite Art Luftpumpen ist mit einem Schieber-Ventile versehen. Die Kolben P und P′ beider Stiefel A A′ und B B′ sind nämlich massiv und der Angabe nach befinden sich die gezahnten Stangen unmittelbar über denselben, so dafs sie also den Druck der äufseren Luft tragen müssen. Unter der gemeinschaftlichen Bodenplatte beider L L′ befindet sich die bewegliche Platte M M′ mit zwei Löchern S S′, worin zum Ueberflufs zwei Kegelventile angebracht sind, mit der Oeffnung T in ihrer Mitte; unter dieser aber liegt das Bodenstück N N′ mit der Höhlung C C′, aus welcher der Canal R unter den Recipienten führt. Nach der Stellung, welche die Zeichnung angiebt, ist der Embolus P′ aufsteigend und die Luft strömt also durch R und T in den leeren Raum des Stiefels B B′, die unter dem Embolus P

Fig. 83.

Fig. 84.

---

1 Biot Traité T. I. p. 138. Man findet hier jedoch blofs die Elemente dieser Constructionen angegeben.

befindliche Luft aber entweicht ins Freie durch die Oeffnung S, bis jener Embolus den höchsten und dieser den tiefsten Stand erreicht hat. Dann wird die Platte MM′ seitwärts geschoben, bis die Oeffnung T über C und mit dem Stiefel AA′ in Verbindung kommt, die Oeffnung S′ dagegen mit dem Stiefel BB′. Bei der alsdann folgenden Bewegung der Kolben strömt also die Luft aus dem Stiefel BB′ durch die Oeffnung S′ ins Freie, die aus dem Recipienten aber durch R und C unter den sich hebenden Embolus P. Biot erklärt diese Luftpumpen wiederholt für sehr genau; einiges zu ihrer näheren Würdigung dienende wird weiter unten vorkommen.

Macvicar's Luftpumpe mit Kegelventilen möge hier deswegen mit wenigen Worten erwähnt werden, weil sie eine der neuesten ist und so eben erst den Namen einer verbesserten erhalten hat[1], den sie schwerlich verdient. Der Embolus besteht aus zwei auf einander geschraubten Stücken und hat im Boden ein Kegelventil, welches sich durch den Druck der unter ihm befindlichen Luft von selbst öffnet, damit diese durch die Kolbenstange entweichen könne. An der einen Seite ist derselbe durchbohrt und mit einer Lederbüchse versehen, durch welche eine Stange sich luftdicht bewegt, welche unten konisch zulaufend eine Oeffnung im Bodenstücke des Stiefels verschliefst, während der Embolus abwärts bewegt wird, und öffnet, sobald er aufzusteigen anfängt. Damit aber dieses Bodenventil sich nur gerade so weit öffne, als erforderlich ist, um der Luft aus dem Recipienten den freien Eintritt in den Stiefel zu gestatten, stützt sich die Ventilstange gegen die obere Platte des Stiefels, in welcher sich aufserdem ein Kegelventil befindet, um beim Aufziehen des Kolbens die über demselben befindliche Luft ins Freie entweichen zu lassen. Man sieht bald, dafs diese Luftpumpe keine andere ist, als die eben beschriebene erste Fortin'sche, mit dem einzigen Unterschiede, dafs bei jener nach Biot's nicht einmal ganz zuverlässiger Angabe der Stiefel durch keine Deckelplatte verschlossen ist.

Fig. 85.

Eine durch äufsere Eleganz und schnelle Wirksamkeit sich auszeichnende Luftpumpe beschreibt Partington[2] und sie ver-

1 Account of an improved Air-Pump cet. in Edinb. Journal of Science. New Ser. No. I. p. 162. vom Jahre 1829.

2 Manuel of natural and experimental Philosophy. T. I. p. 109. Daraus in Zeitschrift für Physik und Math. Wien 1829. Th. VI. S. 89.

dient wegen ihres sinnreich ausgedachten Baues gewiſs allgemeiner bekannt zu werden. Die Zeichnung stellt sowohl ihre äuſsere Gestalt, als auch ihren inneren Bau, soweit dieses nöthig ist, dar. A und B sind die beiden Stiefel, C und D die beiden Kolben mit ihren Stangen E und F. Die Stiefel stehen mit ihren unteren Flächen auf einer ebenen Bodenplatte und haben oben eine Deckelplatte mit einer Lederbüchse, durch welche die Kolbenstangen luftdicht gehen, um so mehr, als eine an diesen Büchsen oben befindliche, mit Oel gefüllte Schale der Luft den Zutritt gänzlich abschneidet. Beide Stiefel haben oben ein durch Schrauben fest angezogenes und auſserdem durch breite Ränder gegen den Zutritt der Luft geschütztes Stück G, in dessen Wandungen sich zu beiden Seiten ein mit der Axe des Stiefels parallel laufender Canal befindet, welcher oben und unten ins Innere des Stiefels mündet. Die Länge dieser Canäle ist genau so groſs, daſs, wenn der Embolus den höchsten Stand erreicht hat, die untere Einmündung frei bleibt. Zu beiden Seiten beider Cylinder nach Auſsen laufen die verticalen Röhren M, M herab und communiciren mit Canälen, welche ins Innere der Stiefel führen. Eine ähnliche Röhre K geht zwischen beiden Stiefeln herab und communicirt unten durch die Röhre ff' mit dem Innern des Stiefels, oben aber führt sie zu dem Canale H, welcher mit dem Recipienten in Verbindung steht und aus welchem die Seitencanäle a in die Stiefel führen. Jeder Stiefel hat vier Klappen, deren zwei, b und c, unten im Boden angebracht sind und aus Wachstaffent, wie bei den Ventilluftpumpen, bestehen, zwei aber sich am oberen Theile jedes Stiefels befinden, von denen die mit d bezeichneten gleichfalls aus Wachstaffent gemacht sind, die beiden andern aber durch die cylindrischen Stangen L und L vertreten werden. Die Ventile b und b öffnen sich nach Auſsen, so daſs die Räume unter den Kolben mit der äuſseren Luft in Verbindung kommen, die Ventile c, c dagegen öffnen sich nach Innen und stellen die Verbindung zwischen den unter den Kolben befindlichen Räumen der Stiefel mit dem Recipienten durch die Röhre K her. Eben so öffnen sich die Ventile d nach Auſsen und stellen die Verbindung mit der äuſsern Luft durch die Röhren M, M her, die Ventile e, e dagegen setzen die Räume über den Kolben durch die Canäle in den Wandungen mit dem Recipienten in Verbindung.

Fig. 86.

Die Kolbenstangen E, E sind unten cylindrisch, hängen aber durch einen Ansatz F mit einer gezahnten Stange zusammen, welche, wie gewöhnlich, durch ein Getriebe auf und ab gewunden wird. Mit den Kolbenstangen sind die um eine Axe h, h beweglichen Hebelarme so verbunden, daſs die einen durch Reibung an ihnen gehoben und herabgedrückt werden, die andern dagegen vermittelst der Krücken g, g an den Hülsen m, m festsitzen, welche zwischen Spiralfedern auf den Ventilstangen L, L verschiebbar sind, so daſs hierdurch die Canäle e, e abwechselnd geöffnet und verschlossen werden. Die Spiralfedern sind deswegen nöthig, damit die Kolbenstangen bei ihrem höchsten Stande die Ventilstangen L, L nicht zu stark herabdrücken und sie dadurch beschädigen. So wie also die eine Kolbenstange zu steigen anfängt, so verschlieſst die ihr zunächst stehende Ventilstange L den einen Canal e, die über dem Embolus befindliche Luft kann nicht wieder in den Recipienten zurück, sondern muſs durch das Ventil d und den Canal M ins Freie entweichen, während unter dem Kolben ein leerer Raum entsteht, in welchen die Luft aus dem Recipienten durch den Raum H, die Röhre KK, den Canal ff und das Ventil c einströmt. Geht dagegen der bis zu seiner gröſsten Höhe aufgewundene Embolus wieder herab, so hebt sich die Ventilstange e, die Luft strömt aus dem Recipienten durch den Raum H und den Canal a in den leeren Raum über dem Embolus, die unter diesem befindliche dagegen wird zusammengedrückt und muſs durch das Ventil b entweichen. Die Luftpumpe ist sonach eine zweistiefelige, doppeltwirkende Ventilluftpumpe, mit welcher die Verdünnung in sehr kurzer Zeit erfolgen muſs. Endlich kann es sich leicht treffen, daſs eins von den Ventilen schadhaft wird. Für diesen Fall hat der Verfertiger Style bei O einen Hahn angebracht, durch dessen Schlieſsung sogleich der untere Theil der Röhre KK gesperrt wurde, so daſs die Pumpe bloſs mit ihren oberen Ventilen wirkte; waren aber die oberen Ventile verletzt, so durften nur die Hülsen m, m ausgelöst werden, um die Verbindung durch die Canäle e, e aufzuheben und die Pumpe bloſs mit ihren unteren Ventilen arbeiten zu lassen.

In Beziehung auf Schnelligkeit der Exantlirung läſst diese Pumpe gewiſs nichts zu wünschen übrig, auch hat sie den Vorzug, daſs ihre Kolben leicht beweglich sind, keine Auslösung von Ventilen oder irgend eine Steuerung den mindesten Auf-

schub verursacht, weswegen die Exantlirung mit ungewöhnlicher Schnelligkeit erfolgen muſs. Nur über einen einzigen Umstand fehlt eine nähere Versicherung, nämlich über den Grad der Verdünnung, welchen man durch diese Luftpumpe erreicht habe. Gute Ventile leisten allerdings unglaublich viel, allein da deren so viele vereinigt sind und jedes für sich allein alles zu leisten hat, ohne daſs sich alle, wie bei der Smeaton'schen Einrichtung, gegenseitig unterstützen, so ist zu fürchten, daſs leicht eins oder das andere nicht vollkommen schlieſst und also die Leistungen der Maschine vermindert werden.

Es läſst sich wohl nicht in Abrede stellen, daſs die Cuthbertson'schen Kegelventile, wenn sie sehr genau gemacht sind, ein stärkeres Vacuum geben, als Blasenventile, was denn Veranlassung gegeben hat, beide zu vereinigen. Nur ein einziges nach dieser Idee ausgeführtes Exemplar von ausgezeichnet schöner Arbeit habe ich im physikalischen Cabinette in Liverpool gesehen, nämlich eine etwas groſse, aber doch bloſs auf einen Tisch zu stellende Luftpumpe mit drei Stiefeln, deren Röhren sämmtlich unter den nämlichen groſsen Teller führten. Die zwei kleineren Stiefel waren mit Blasenventilen versehen, standen neben einander und bildeten für sich eine gewöhnliche zweistiefelige Ventilluftpumpe; ihnen gegenüber an der entgegengesetzten Seite des Tellers war ein gröſserer Stiefel mit Cuthbertson'schen Ventilen. Alle drei Stiefel können gleichzeitig zum Exantliren benutzt werden, nach der Bestimmung des Künstlers sollen aber zuerst die zwei kleineren mit Blasenventilen das Vacuum so weit erzeugen, als dieses angeht, und alsdann erst soll der mehr zu schonende dritte dasselbe noch weiter treiben. Indeſs ist diese Einrichtung zusammengesetzt, kostspielig und entspricht den Erwartungen aus leicht begreiflichen Gründen nicht.

Endlich darf ich hier noch eine Luftpumpe erwähnen, welche ich im reichen Cabinette zu Edinburg gesehen habe und deren Bestimmung ist, Eis nach Leslie's Angaben schnell und in gröſserer Menge zu bereiten. Sie besteht aus einem sehr weiten und mäſsig hohen Stiefel mit Blasenventilen, von welchem aus drei Röhren unter eben so viele Teller führen. Letztere sind auf einem dicken, auf dem Fuſsboden stehenden Brete befestigt, die Kolbenstange aber geht durch eine Lederbüchse und ist an dem kürzeren Arme einer Stange befestigt, deren längerer mit

beiden Händen schnell auf und nieder bewegt wird. Als Hypomochlium dient eine Walze, welche mit ihren beiden Zapfen horizontal liegend in zwei verticalen Säulen beweglich ist. Die ganze Maschine ist nur roh gearbeitet und mag allerdings zum schnellen Exantliren brauchbar seyn, kann aber nicht wohl ein starkes Vacuum erzeugen.

c) Luftpumpen ohne Ventile.

Luftpumpen ohne Hahnen und ohne Ventile zu construiren ist eigentlich eine Unmöglichkeit und selbst die hydraulischen und Quecksilberluftpumpen, von denen hier die Rede nicht ist, sind im strengsten Sinne nicht ohne alle Ventile, wenn man die Hahnen mit dazu rechnet. Wirklich soll die Bezeichnung meistens nur bedeuten, dafs die Verschliefsung der Luftcanäle nicht durch besondere Ventile geschieht, sondern durch die Kolben zugleich mit bewerkstelligt wird. Auch unter diese Classe gehören einige sinnreich construirte Maschinen, von denen hier eine kurze Beschreibung mitgetheilt werden soll.

Eine sehr einfache und ohne Zweifel hinlänglich wirksame, zugleich aber nicht kostbare Luftpumpe hat Elizur Wright zu Canaan in Connecticut angegeben[1], ohne dafs bis jetzt eine wirkliche Ausführung derselben bekannt wurde. Der auf dem horizontalen Stiefel liegende Teller F bildet den eigentlichen Körper dieser Maschine und müfste diesemnach in der Ausführung durch ein Fufsgestell unterstützt werden. Unmittelbar unter und fast in Berührung mit demselben befindet sich der Stiefel, in welchen zwei Communicationsröhren A und B vom Teller aus hinabgehen. In demselben befinden sich zwei Kolben ohne alle Ventile, aber in ihrer ganzen Ausdehnung genau an die Wandungen des Stiefels anschliefsend. Der eine derselben P ist mit einer Stange versehen, welche durch die Lederbüchse O luftdicht geht und am Ende eine gezahnte Stange hat, um vermittelst eines Getriebes durch die Kurbel H hin und her bewegt zu werden. Der andere Kolben N ist etwas länger, hat aber eine kurze Stange und wird durch eine starke Feder S stets in den Stiefel hineingedrückt. Beide sich berührende Flächen der Kolben sind genau auf einander abgeschliffen, so dafs

Fig. 87.

1 Aus Nicholson's Journ. T. XII. p. 305 in G. XXXI. 187.

sie in der Berührung mit einander gar keinen Raum zwischen sich lassen.

Steht der Recipient über der Oeffnung des Röhrchens A, so dafs die zweite Oeffnung des Röhrchens B einen freien Zutritt zur äufseren Atmosphäre hat, und wird der Embolus P zurückgezogen, so entsteht im Stiefel ein leerer Raum, weil B durch den Embolus N verschlossen ist. In diesen leeren Raum strömt die Luft aus dem Recipienten, sobald der Embolus P unter der Oeffnung des Röhrchens A weggezogen und an der Bodenplatte O angelangt ist, welche er gleichfalls genau und ohne einen schädlichen Zwischenraum zu lassen berühren mufs. Windet man diesen Kolben wieder rückwärts, so treibt er die in ihm befindliche Luft vor sich her und prefst sie zusammen, bis sie den anderen Embolus N über die Oeffnung des Röhrchens B hinaustreibt und ins Freie entweicht. Beim abermaligen Zurückwinden von P folgt ihm N, durch den Druck der Feder bewegt, nach, verschliefst B abermals und auf diese Weise wird die Exantlirung des Recipienten bewirkt, welche sehr vollständig werden mufs, wenn beide Kolben so genau gearbeitet sind, dafs sie keine Luft neben sich vorbei lassen und der eine N die Oeffnung B vollständig verschliefst. Will man comprimiren, so darf man die Campane nur über die Oeffnung B stürzen und A mit der freien Luft in Verbindung lassen.

Welche Luftpumpe unter allen die einfachste sey, darüber kann kein Streit obwalten; es ist nämlich die durch Ritchie angegebene[1]. Sie besteht aus einem blofsen Stiefel A B mit einem massiven Embolus D nebst einer Stange und Handhabe. Die Kolbenstange geht luftdicht durch eine Lederbüchse im Deckel des Stiefels, in welchem zugleich oben bei E ein aufwärts gerichtetes Löchelchen angebracht ist; aufserdem hat der Stiefel bei C eine seitwärts angebrachte, zum Recipienten F führende, rechtwinklig aufgebogene Röhre, der Raum des Stiefels unter dieser Oeffnung ist aber gerade so hoch, als die Dicke des Stiefels beträgt. Denkt man sich also den Embolus bis unter die Oeffnung C hinabgedrückt und dann aufgezogen, so entsteht unter ihm ein leerer Raum, in welchen die Luft aus dem Recipienten einströmt, die über ihm befindliche entweicht aber aus dem Löchelchen bei E. Letzteres wird dann mit dem

Fig. 88.

1 Edinb. Phil. Journ. New Ser. No. 1. p. 112.

Finger verschlossen und der Embolus abermals bis unter C hinabgedrückt, worauf die Luft in den leeren Raum über demselben tritt und beim zweiten Zuge aus der Oeffnung bei E ausströmt. Durch diese wiederholte Operation wird zuletzt das Vacuum so vollständig, als eine Luftpumpe dasselbe geben kann, da kein schädlicher Raum vorhanden ist, wenn nur das Verschliefsen der Oeffnung bei E während des Rückganges des Embolus vollkommen bewerkstelligt wird, und die Maschine ist ihrer Einfachheit ungeachtet für kleine Versuche wegen ihrer Wohlfeilheit gewifs empfehlenswerth.

Beide eben beschriebene Einrichtungen sind vereinigt in einer Maschine, welche Buchanan angegeben hat[1]. Ursprünglich bestand dieselbe blofs aus zwei Stiefeln, einem horizontalen A und einem über ihm befindlichen verticalen B, beide mit den massiven Kolben a und b versehen, deren Stangen keiner Lederbüchse bedürfen. Der horizontale Stiefel ist mit einem unter den Recipienten führenden Canale verbunden, der verticale hat in seinem Boden ein Löchelchen, welches in den horizontalen mündet. Denkt man sich nun die Kolben in der Lage, wie die Zeichnung sie darstellt, wird dann der Embolus a zuerst zurückgezogen, dann der Embolus b, so mufs die Luft aus dem Recipienten sich in beiden Stiefeln ausbreiten; hierauf wird zuerst der Embolus a wieder rückwärts bewegt, dann b, und es ist klar, dafs die im Stiefel B enthaltene Luft durch die Oeffnung im Boden entweichen mufs, ohne wieder unter den Recipienten zu gelangen. Durch Wiederholung dieses Kolbenspieles mufs die Verdünnung stets zunehmen und die einzige erforderliche Bedingung ist, dafs die Kolben genau luftdicht schliefsen. Dafs man ferner zur Compression blofs einer umgekehrten Bewegung der Kolben bedürfe, ist an sich klar.

Fig. 89.

Buchanan kam bald zu der Ueberzeugung, dafs der horizontale Stiefel keiner bedeutenden Weite bedürfe, er verkleinerte denselben daher und vereinfachte die Maschine dadurch bedeutend, wie aus der blofsen Zeichnung genügend hervorgeht. Aber auch bei dieser Construction bleibt fortwährend die Unbequemlichkeit, dafs zwar der Embolus des verticalen Stiefels durch Rad und Getriebe bewegt werden kann, die Bewegung des horizontalen dagegen die eine Hand des Operirenden in Anspruch

Fig. 90.

1 Edinb. Journ. of Science. No. XI. p. 133.

nimmt. Um dieses zu vermeiden und zugleich eine schnellere Evacuirung zu bewirken, ersann BUCHANAN folgenden Mechanismus. Ein Rad Hh mit zwei gezahnten Quadranten bewegt die gezahnten und zugleich gekröpften Stangen der beiden Kolben bei der hiernach vierstiefeligen Maschine. Die beiden Kolben der horizontalen Stiefel sind auf einer gemeinschaftlichen Stange befestigt und diese könnten leicht durch eine verticale Stange beim Anfange jeder Drehung des Rades hin oder zurück bewegt werden, wodurch diese Luftpumpe an Brauchbarkeit und Sicherheit so viel gewinnen würde, dafs sie nicht leicht irgend einer andern nachstände, wenn man noch aufserdem den verticalen Kolbenstangen einen todten Gang gäbe, damit die richtige Stellung der horizontalen Kolben früher erfolgte, als die verticalen in Bewegung gesetzt werden. BUCHANAN hat jedoch einen andern Mechanismus gewählt. Die gemeinschaftliche Kolbenstange hat nämlich in ihrer Mitte einen Querbalken aa, an dessen beide Enden zwei Schnuren gebunden sind. Diese laufen bei b und d am Boden der verticalen Stiefel über Rollen und sind dann in zwei Puncten an das Rad der Kurbel gebunden. In der Stellung, welche die Figur zeigt, sind die von k über die Rollen bei d nach a gehenden Schnuren schlaff, die beiden andern von c über die Rollen bei b nach a gehenden dagegen sind im Begriff angezogen zu werden und müssen also im Augenblicke, wo der Kolben des Stiefels A seinen tiefsten Stand erreicht hat, die Stange der horizontalen Kolben soweit bewegt haben, dafs der unter den Recipienten führende Canal dadurch verschlossen ist, die Luft also beim Niedergehen desselben sich ins Freie ergiefsen kann, wogegen der Canal zum Recipienten unter dem Stiefel A geöffnet ist und durch dessen aufsteigenden Kolben also Verdünnung statt findet.

Fig. 91.

Dafs auf alle vier Kolben dieser Luftpumpe die äufsere Luft mit ihrer ganzen Stärke wirkt, hat BUCHANAN selbst bemerkt und will diesem Mangel dadurch abhelfen, dafs die Stange der horizontalen Kolben in Lederbüchsen sich bewegen soll, auch schlägt er statt der ins Freie führenden Oeffnungen Ventile im Boden der lothrechten Stiefel vor. Ob sich bei einer wirklichen Ausführung diese Mängel der Construction gezeigt haben und ob diese Luftpumpe überhaupt jemals ausgeführt worden sey, wird nicht angegeben. Würden jedoch die vorgeschlagenen Verbesserungen angebracht, so entfernte sich die Maschine dadurch

von ihrem eigenthümlichen Charakter und würde zu einer Ventilluftpumpe, welche dann mit Beibehaltung des übrigen Mechanismus zu sehr zusammengesetzt seyn würde. Aufserdem wird der schädliche Raum bei ihr keineswegs vollständig vermieden, denn in dem Rohre, welches aus dem horizontalen Stiefel in den Boden des verticalen führt, bleibt allezeit Luft von der Dichtigkeit der atmosphärischen zurück, und so kann sie also, bei vorhandenen besseren Constructionen, keineswegs vorzüglich empfohlen werden.

Erfordernisse einer guten Luftpumpe.

Blofs die bisher beschriebenen Arten von Luftpumpen und die nach ähnlichen Grundsätzen gebauten können die Zwecke dieser Art von Maschinen auf eine genügende Weise erfüllen und ich schalte daher hier sogleich eine Untersuchung über die Bedingungen ein, durch welche dieses am sichersten zu erreichen ist. Im Allgemeinen läfst sich leicht aus der Theorie und Erfahrung darthun, dafs die Wirkungen aller bisher beschriebenen Maschinen weit mehr von der genauen Ausführung durch geschickte Künstler abhängen, als vom Mechanismus, wonach sie gebaut sind, und hierin liegt der Grund, dafs so ziemlich alle einzelne gute Zeugnisse ihrer Leistungen aufzuweisen haben. Wenn daher von den Erfordernissen ihrer Verfertigung die Rede ist, so gehört dieses zunächst vor den Künstler, indefs habe ich mich hinlänglich mit diesem Gegenstande beschäftigt, um die wichtigsten Regeln hierüber richtig anzugeben.

Sehr allgemein wird es als eine nothwendige Bedingung einer guten Construction der Luftpumpen angesehn, dafs der *schädliche Raum*, das heifst jeder Raum, in welchem beim Exantliren Luft von der Dichtigkeit der atmosphärischen oder noch über diese hinaus zurückbleibt und jederzeit wieder unter den Recipienten oder in den leeren Stiefel gelangen kann, vermieden werde; allein es läfst sich bald zeigen, dafs die Luftpumpen selten oder niemals diejenige Grenze der Verdünnung wirklich erreichen, welche durch den ihrer Construction nach unvermeidlichen schädlichen Raum gegeben ist. Man darf annehmen, dafs die besseren Luftpumpen eine Verdünnung bis zu zwei Lin. Differenz des Barometers geben; bringen sie das Vacuum bis auf eine Linie, dann sind sie schon vorzüglich zu

nennen, und sie gehören zu den ausgezeichneten, wenn man es mit ihnen bis zu einer halben Linie bringt. Nehmen wir aber 28 par. Zolle als mittleren Barometerstand an, so gehören 2 Linien zu einer 168fachen, 1 Linie zu einer 336fachen und 0,5 Linien zu einer 672fachen Verdünnung, so dafs also eine 700- bis 800fache Verdünnung zu den ungewöhnlichen Leistungen gehört. Es betrage aber bei einer nur kleinen Maschine der innere Durchmesser des Stiefels 2 Zolle und seine Höhe mit Ausschlufs des Raumes, welchen der Embolus einnimmt, 12 Zolle, so ist sein Inhalt = 65144 Kub. Linien. Hätte dann der Canal vom Boden des Embolus bis zum Hahne die Weite von einer Linie und 12 Lin. Höhe, so betrüge sein Inhalt 9,4248 Kub. Linien und das Verhältnifs seines Inhalts zu dem des Stiefels wäre also $\frac{65144}{9,4248} = 6912$, und dieses gäbe also die mögliche Grenze der Verdünnung an, welche bei vollkommenster Herstellung aller übrigen Theile erreicht werden müfste, die besseren Leistungen aber um das Zehnfache übersteigt. Wie tief die Elasticität der Luft herabgehen könne, um gerade noch fähig zu bleiben, das Blasenventil zu heben, läfst sich nicht scharf berechnen, weil dieses von der Steifheit der angewandten Substanz abhängt, jedoch bin ich überzeugt, dafs 0,5 Lin. Quecksilberdruck hinreichen würde, um auch das steifste Ventil so weit zu heben, als erforderlich ist, der Luft einen Durchgang durch die feine Oeffnung zu gestatten. Wirklich versichert auch Configliachi[1], mit einer vorzüglichen Ventillustpumpe von Nairne die Verdünnung bis 0,75 Millim. oder etwa 0,3 Lin. gebracht zu haben. Bei den Cuthbertson'schen Kegelventil-Luftpumpen wird angenommen, dafs die untere Fläche des Kegels im Embolus mit der unteren Fläche des Kolben bei seinem Herabgehen eine völlige Ebene bilde und beide also mit der Bodenfläche des Stiefels ohne Zwischenraum zusammenfallen. Beträgt dann die Höhe der Bewegung des Kegels 0,5 Linien und darf vorausgesetzt werden, dafs die obere Fläche des Kolben mit der Deckelplatte des Stiefels ohne Zwischenraum zusammenfalle, so wird durch das Aufziehen des Kolben unter dem Kegel ein Luftvolumen abgeschnitten, welches den durch das Ventil früher eingenommenen Raum ausfüllt. Dieser

1 G. XLIII. 342.

Raum ist ein Theil eines abgekürzten Kegels, man kann ihn aber füglich als einen Cylinder von der Basis des Ventilkegels und 0,5 Lin. Höhe berechnen. Weil aber unter den angegebenen Bedingungen, hauptsächlich unter der Voraussetzung, dafs alle über dem Kolben befindliche Luft entfernt sey und somit über demselben beim Herabgehen keine Luft von gröfserer Dichtigkeit sich befinde, als welche durch das geöffnete Ventil strömt, die Luft in dem genannten cylindrischen Raume allezeit blofs die Dichtigkeit derjenigen im Recipienten hat, so mufs die Verdünnung, dieses Raumes ungeachtet, regelmäfsig fortschreiten und zuletzt über jede Grenze hinausgehen. Die oben angenommene Bedingung, nämlich dafs über dem Embolus bei seiner gröfsten Erhebung gar keine Luft zurückbleiben solle, findet jedoch in der Wirklichkeit nicht statt, denn sonst müfste das Ventil in der Deckelplatte des Stiefels mit der oberen Fläche des Embolus in so innige Berührung kommen, dafs es keinen Zwischenraum liefse. Dieses ist aber nicht ausführbar, vielmehr führt bei diesen Luftpumpen ein etwas langer Canal durch die Deckelplatte zu dem Ventile, welches den Eintritt der Luft über den Embolus verhindert. Wir wollen jedoch selbst den Antheil Luft, welcher von diesem aus sich beim Rückgange des Embolus im Raume des Stiefels ausbreitet, unbeachtet lassen und annehmen, dafs der Raum über dem Embolus dem Zutritte der atmosphärischen Luft gar nicht abgeschlossen wäre, so würde bei dieser ganz fehlerhaften Construction unter dem Kolben ein Cylinder von atmosphärischer Luft, so grofs, als der Raum des zurückgezogenen Ventil-Kegels ist, zurückbleiben und die Verdünnung könnte auf keine Weise diejenige erreichen, welche durch die Verbreitung dieser Luftmenge in dem ganzen Stiefel gegeben wird, weil hierzu eine absolute Leere unter dem Recipienten, also eine unendliche Menge Kolbenzüge erfordert würden, und dabei müfste zugleich das Eindringen der Luft in das geöffnete Bodenventil durch schnelle Schliefsung des Ventils im Kolben verhütet werden. Der kubische Inhalt eines solchen Cylinders von Luft, die Basis des Konus hoch zu 18 Lin., die Höhe aber zu 0,5 Lin. angenommen, betrüge dann 127 Kub. Linien und das Verhältnifs $\frac{65144}{127} = 512$ gäbe für einen Stiefel von der oben angenommenen Gröfse die äufserste, unter den gegebenen Bedingungen nicht völlig erreichbare Grenze der Ver-

dünnung, so daſs also dennoch eine 336fache oder bis zu einer Differenz der Barometerstände von 1 Lin. leicht zu erwarten wäre, gewiſs aber mit einer solchen Maschine nie erreicht werden würde[1]. Die Ursache hiervon liegt darin, daſs die Kolben ihren Raum im Stiefel nicht vollständig ausfüllen, die Ventile und Hahnen nicht dicht schlieſsen, die Zuleitungsröhren und ihre Ansätze das Eindringen der Luft nicht gänzlich verhüten, also am Mangel der bündigsten Genauigkeit aller Theile. Wäre diese wirklich vorhanden, so würde das Vacuum nach einer geringeren Anzahl von Kolbenzügen weit vollständiger seyn, als es überhaupt erhalten zu werden pflegt, auch würden sich die Recipienten auf den Tellern nicht in einiger Zeit wieder mit Luft füllen. Folgendes läſst sich etwa über die Verfertigung der Luftpumpen im Einzelnen angeben.

a) Daſs das äuſsere Gestell von gutem gesunden Holze hinlänglich dauerhaft, aber zugleich zierlich, gefertigt werden müsse, versteht sich wohl von selbst. Unter allen Holzarten ist Mahagony am meisten vorzuziehen, weil es sich nicht wirft und durch Oel oder Fett beschmutzt und abgerieben seinen Glanz nicht verliert. Rücksichtlich der Form verdient wohl für die gröſseren ein- oder zweistiefeligen die durch Cuthbertson gewählte oder noch mehr diejenige, welche durch Fig. 86. dargestellt ist, den Vorzug; für kleinere, sogenannte Tischluftpumpen, ist die ältere Hawksbee'sche vorzuziehen. Solche bestehen aus einem dicken Bodenbrete, welches auf den Tisch gestellt und mit zwei an beiden Seiten in das Holz eingreifen-

1 Das eigentliche Verhalten bei dieser Art von Ventilen ist folgendes. Es bleibt über dem in die Höhe gezogenen Embolus eine geringe Menge Luft, deren Dichtigkeit die der atmosphärischen etwas übertrifft und sich beim Herabgehen des Embolus durch das geöffnete Kolben-Ventil im Stiefel verbreitet. Von dieser wird der angegebene Cylinder abgeschnitten und breitet sich in Verbindung mit der aus dem Recipienten einströmenden im ganzen Raume des Stiefels aus, wenn der Embolus seine gröſste Höhe erreicht hat. Da die Luft unter dem Recipienten bei jedem Kolbenzuge dünner wird, so lange sie noch in den Stiefel strömen kann, so läſst sich aus dem Verhältnisse des Inhalts des genannten Cylinders zu dem des Stiefels der Grad der Verdünnung unter den angenommenen Bedingungen berechnen und man würde selbst dann eine mehr als tausendfache Verdünnung erhalten, wenn jener kleine Cylinder nur die halbe Dichtigkeit der atmosphärischen hätte.

den Schraubzwingen befestigt werden kann. In der Mitte dieses Bretes läuft der Länge nach ein vierkantiger, in das Holz eingelassener Canal hin, welcher zur Oeffnung im Teller führt und dicht hinter den Stiefeln ein Loch mit einer Schraubenmutter hat, um ein doppelt gebogenes Heberbarometer aufzunehmen; an der vordern Seite aber wird eine Schraube angebracht, um die Luft unter den Recipienten zu lassen. Verlangt man starke und etwas schnelle Verdünnung, so sind zwei Stiefel von etwa 14 Zoll Höhe und 2 Zoll innerem Durchmesser mit Hahnen vorzuziehen, bei denen es dann keiner Lederbüchse bedarf, wodurch ohnehin die Kolbenstange die doppelte Länge und also die Pumpe eine zu große Höhe erhalten würde. Für solche Maschinen wäre dann des geringeren Preises wegen eine Steuerung der Hahnen mit der Hand vorzuziehen, wenn man nicht lieber Ventile wählt. Solche kleine Luftpumpen mit zwei Stiefeln und Blasenventilen trifft man viele, namentlich habe ich deren in Menge in England und Schottland gesehen. Sie sind elegant, dauerhaft, exantliren schnell, weil bei höchstens einer ganzen Umdrehung der Kurbel der eine Embolus ganz in die Höhe, der andere bis auf den Boden kommt; sie bringen aber das Vacuum nur bis auf zwei Linien der Barometer-Probe.

b) Die Stiefel werden meistens von Messing verfertigt, Mendelssohn [1] wählte statt dessen Glas und giebt diesem den Vorzug, weil man dabei gegen Ungleichheiten und Brüche im Metalle gesichert sey und diese Substanz außerdem weder durch Oel noch durch Säuren angegriffen werde. Diese Vorzüge sind allerdings gegründet, bis jedoch mehrere Erfahrungen zu Gunsten derselben entscheiden, steht ihrer Anwendung nach meiner Ansicht Folgendes entgegen. Zuerst glaube ich, daß sie für kleinere Tischluftpumpen geeigneter seyn mögen, aber gläserne Stiefel von 18 bis 20 Zoll Höhe und 3 bis 4 Zoll innerer Weite zu erhalten, deren Glasdicke im rohen Zustande mindestens 0,75 Zolle betragen müßte, dürfte sehr schwer seyn und nicht minder mühsam ihr Ausschleifen im Innern, da man bedeutende Ungleichheiten ihrer Form erwarten müßte. Außerdem ist allezeit einige Gefahr ihres Zerspringens bei ihrer Bearbeitung vorhanden; ihnen Ränder zu geben, durch welche sie mit Deckel und Bodenstück vermittelst Schrauben verbunden

1 G. XXII. 96.

würden, ist wohl kaum möglich, es müſste also eine metallene Fassung darauf gekittet werden und dann dürfte es sehr schwer seyn, ihre oberen Ränder mit denen der Fassungen genau eben darzustellen, da Glas, Kitt und Metall verschiedener Mittel zum Ebenen bedürfen. Endlich geben Glasflächen eine bedeutende Reibung, wenn man auch die Gefahr des Zerspringens, welches bei so dicken Glasmassen, wenn sie bei ungleicher Temperatur stark gespannt sind, nie fehlt, nicht mit in Anschlag bringen will. Ihre Unverletzbarkeit durch Säuren ist hiergegen nicht hoch anzuschlagen, da man die ganze Maschine nicht von Glas machen kann und also ohnehin gegen Säuren schützen muſs.

Die metallenen Stiefel von Messing sind in der Regel gegossen. Manche Künstler ziehen es vor, dicke Messingtafeln zusammenzubiegen und zu löthen, weil sie behaupten, das gegossene Metall könne leicht feine Risse oder blasige Stellen haben, welche oft erst bei der Bohrung zum Vorschein kämen. Dieses Argument ist allerdings gegründet, aber es steht ihm entgegen, daſs auch an den gelötheten Stellen Risse bleiben können, und auſserdem erhält das Metall auf der ganzen Strecke der Löthung eine ungleiche Härte, wird daher bei der Bohrung und dem Auschleifen ungleich angegriffen und läſst sich nur mit Mühe oder überall nicht völlig eben und glatt darstellen. Diesemnach behalten die gegossenen, denen man oben und unten sogleich den erforderlichen Rand geben kann, immer den Vorzug und es ist wohl nicht zu bezweifeln, daſs geübte Gieſser sie völlig gleichmäſsig im Gusse liefern können. Statt des Messings Kanonengut oder Glockenspeise zu wählen ist wohl nicht rathsam, weil dieses Metall sich ungleich schwieriger bearbeiten läſst und seine gröſsere Härte für diesen Zweck nicht erforderlich ist.

Die rohen Stiefel müssen gebohrt und dann ausgeschliffen werden. Es ist von groſser Wichtigkeit, daſs die Bohrung höchst genau sey, weil sie nur dann leicht ein ganz gleiches Caliber erhalten können. Die Bohrung geschieht am besten so, daſs man den Stiefel auf der Drehbank fest aufspannt, ihn dann um seine horizontale Axe sich drehen läſst, den Bohrer genau in dieser Axe befestigt und dem Stiefel entgegen führt. Für den ersten oder Roh-Bohrer eignet sich fast auschlieſslich nur der Halbcylinder, welcher bloſs vorn, aber nicht an seinen Seitenkanten schneidet. Damit dieses desto besser und sicherer

geschehe, ist der 2 bis 3 Zolle lange, an einer Stange befestigte Halbcylinder an seiner vorderen Seite in einem Winkel von etwa 15 Graden auf seine Axe geschnitten, so dafs die bohrende Fläche eine halbe Ellipse bildet, deren kleine Axe der Durchmesser des Cylinders ist. Wird die bohrende Schärfe stumpf, so schleift man die untere Fläche gleichmäfsig etwas ab und die Schärfe ist wieder hergestellt. Weil ein solcher halber Cylinder sich in dem inneren Raume des Stiefels nicht seitwärts zu bewegen vermag, so wird durch denselben die Bohrung sehr genau bewerkstelligt, allein die erzeugte Fläche ist für die Bewegung des Embolus in der Richtung der Axe des Stiefels nicht eben genug. Um ihn daher fein zu bohren, dient ein ganzer Cylinder aus Metall, welcher an seiner unteren Bodenfläche ein hervorragendes Messer, ein Stahlstück mit sehr scharfen Kanten hat. Dieses in den Cylinder eingesetzt kann nicht füglich bis zur vollendeten Bohrung des ganzen Stiefels gleich scharf bleiben und es ist daher erforderlich, noch einen zweiten Cylinder mit einem neuen Schneidestücke einzusetzen, welches einen noch feinern Spahn schneidet. Ist das Bohren mit hinlänglicher Sorgfalt vollendet, der Stiefel also inwendig höchst blank und polirt, dann ist noch die geringere Mühe übrig, einen hölzernen Cylinder genau so dick zu verfertigen, als die Weite des Stiefels erfordert, diesen mit etwas Oel und geschlemmtem Schmirgel zu überziehen und hiermit den Stiefel inwendig matt zu schleifen.

Meistens werden zwischen die Stiefel und ihre Endplatten lederne, in Fett getränkte Ringe gelegt, allein die neueren geübten Künstler arbeiten die Metallflächen so eben, dafs sie luftdicht schliefsen. Dieses ist in jeder Hinsicht besser, da das Leder leicht ungleich dick ist, vom Fette oft nicht durchaus getränkt wird, also mitunter etwas Luft durchdringen läfst, und allmälig vertrocknet. Vor allen Dingen aber liegt ein Mangel darin, dafs das Leder mit seinem Rande keine ganz genaue Fortsetzung der inneren Fläche des Stiefels bildet und daher einen schädlichen Raum läfst, hauptsächlich wenn es die innige Berührung der Bodenfläche durch den Embolus hindert. Sollte man später das feste Anschliefsen der Metallflächen ungenügend finden, so kann demnächst immer noch eine Scheibe oder ein Ring von feinem Handschuhleder dazwischen gelegt werden.

c) Die Teller der Luftpumpen waren früher insgesammt

von Messing. Um sie völlig eben zu erhalten, pflegten die Künstler allezeit deren zwei auf einander genau flach zu schleifen, gegenwärtig aber dient zu ihrem Abdrehen das Süpport, wodurch sie von selbst eben hergestellt werden. Die gläsernen Teller finde ich zuerst durch Mendelssohn [1] erwähnt und weiſs nicht, ob man sie früher gekannt hat, indeſs gewähren sie die Vorzüge, daſs sie ungleich wohlfeiler sind, leichter rein erhalten werden und ein schöneres Ansehen haben, wogegen die leichtere Möglichkeit des Zerbrechens durch harte auffallende Körper nicht übersehen werden darf. Sie bestehen aus einer 2 Lin. dicken Spiegelscheibe, in eine Schüssel von dünnem Messing mit einem aufstehenden Rande eingekittet. Statt des Kittes, welcher durch Temperaturwechsel leicht abspringt, kann sie auch auf eine Scheibe weichen, mit venetianischem Terpentin getränkten Leders gelegt werden, am schönsten aber ist es, wenn sie am Rande frei auf einen kleinen messingnen Teller über eine solche Scheibe von Leder gelegt und zu gröſserer Sicherheit durch ein eingeschraubtes Stück Messing mit überstehendem Rande festgehalten wird, in welchem sich zugleich die weibliche Schraube zum Aufschrauben der zu exantlirenden Recipienten befindet.

d) Der Embolus ist neben dem Stiefel der wichtigste Theil an der Luftpumpe und auf seiner Unvollkommenheit beruht hauptsächlich der Unterschied ihrer wirklichen Leistungen gegen die berechneten. In der Regel nämlich berühren die Kolben weder mit ihrer oberen und unteren Fläche die Deckel- und Bodenflächen, noch auch mit ihrem Umfange die Wandungen der Stiefel genau, sondern lassen entweder Luft durch, oder bilden Räume, deren Inhalt nicht scharf berechnet werden kann, aber groſs genug ist, um die oben gerügte Mangelhaftigkeit der Verdünnung gröſstentheils herbeizuführen. Bei einem vollkommenen Embolus müſste jene Berührung vollständig seyn, welches zu erreichen zwar schwierig, aber keineswegs unmöglich ist. Meistens besteht der Embolus aus einem messingnen Körper, oben und unten mit einer messingnen Scheibe von etwa 0,75 Lin. Dicke, in der Mitte von einem durchbohrten Stücke Kork umgeben, über welches eine Kappe von feinem Handschuhleder gezogen ist. Letztere wird verfertigt, indem man

1 Dessen Beschreibung der Luftpumpe. G. XXII. 96.

eine runde, in der Mitte durchbohrte Scheibe dieses Leders zwischen die untere Fläche des Korkes und die Bodenfläche des Embolus preſst, das Leder mit Wasser erweicht, wodurch es dehnbarer wird und nachher das Oel leichter annimmt, dann dasselbe mit möglichster Ausgleichung aller Falten nach oben über den Kork legt, mit einem Faden am oberen Theile des Kolbens festbindet, trocknen läſst, abschneidet und mit Pomade einreibt. Vor dem gänzlichen Trocknen muſs der Embolus einige Male in den Stiefel gebracht werden, um die Falten besser auszugleichen und die Kappe accurater festzubinden; auch bleibt das obere Band später nicht, sondern wird weggenommen, weil es sich sonst leicht abstreift und in den Stiefel fällt.

Die so verfertigten Kolben bewegen sich sanft und schlieſsen dicht wegen der Elasticität des Korkes, auch wird eine gut gemachte Kappe weniger leicht abgestreift, als man erwarten sollte, allein für doppelt wirkende Luftpumpen sind solche Kolben überall nicht geeignet, weil man sie oben nicht genugsam ebnen kann, um eine vollkommene Verdünnung zu erzeugen. Auſserdem aber kann die Umbiegung über der Bodenplatte nicht scharf kantig seyn und es entsteht also ein Raum, welcher nebst dem um die nicht völlig anschlieſsende Bodenplatte des Embolus befindlichen die Wirkung vermindert.

Viele verfertigen daher den Embolus so, wie dieses für die Windbüchsenpumpen zu geschehen pflegt, d. h. zwischen die obere und untere messingne Platte werden Lederscheiben gelegt, fest zusammengeschraubt und dann abgedreht. Ein solcher Embolus läſst sich allerdings ungleich dichter schlieſsend darstellen und bei den eisernen Stiefeln der Compressionspumpen für Windbüchsen schlieſsen sie auf allen Fall selbst gegen einen mehr als hundertfachen Luftdruck völlig genau; allein bei den feiner gebauten Luftpumpen verwirft Little[1] auf jeden Fall die Anwendung des Sohlenleders und überhaupt des gegerbten, weil es zu scharf ist und hierdurch, zugleich auch durch die darin enthaltene Gallussäure das Messing angreift. Er empfiehlt dagegen Rehleder oder Hirschleder, auf jeden Fall weiſs gegerbtes. Letzteres läſst sich nicht ohne Mühe so stark zusammenpressen, daſs der Embolus gehörige Dichtigkeit erhält, und auſserdem muſs der Embolus zuletzt mit einem sehr scharfen Ei-

1 G. VI. 3.

sen rund gedreht werden; aber ohne hierüber eine andere Erfahrung, als die durch LITTLE gemachte, benutzen zu können, halte ich solche Kolben für ungleich brauchbarer, als die aus Kork verfertigten.

MENDELSSOHN[1] schlägt nicht bloſs metallene Kolben vor, sondern hat diese auch für seine gläsernen Stiefel wirklich verfertigt. Wie sich dieselben in der Anwendung gezeigt haben, finde ich nirgends erwähnt, auch ist an sich klar, daſs sie sehr schwer zu verfertigen sind, weil das Metall nicht nachgiebt und sie also in die höchst genau gearbeiteten Stiefel auch vollkommen passen müssen, um überhaupt ein Vacuum zu erzeugen, und dieses ist für hohe Stiefel eine keineswegs leichte Aufgabe, wenn gleich DUMOUTIEZ und BOUVIER-DESMORTIER pneumatische Feuerzeuge aus Glas mit zinnenen Kolben verfertigt haben[2] und bei den Stiefeln der Dampfmaschinen die metallenen Kolben sehr gemein sind, wo es jedoch auf den Verlust von etwas Dampf nicht ankommt. Inzwischen liegt es keineswegs auſser den Grenzen der Möglichkeit, sowohl den Raum im Stiefel, als auch den Embolus beide so genau und von gleicher Gröſse darzustellen, daſs letzterer den ersteren überall vollständig ausfüllt. Solche Kolben haben dann noch den Vorzug, daſs sie nicht mit Oel getränkt werden, welches sich allmälig verdickt, sondern daſs sie mit etwas Pomade einmal überstrichen stets leicht über die glatte Fläche der Stiefel hingleiten. Die Besorgniſs eines Abreibens beider Flächen an einander scheint mir nicht sehr begründet, wenn aller Staub und sonstige Körper abgehalten werden, welche ein Schleifmittel bilden könnten.

Der Bau der Kolben muſs nach den Ventilen eingerichtet seyn. Diese befinden sich jedoch allezeit in der Mitte derselben, im eigentlichen Körper, und ich glaube daher, daſs von folgendem massiven Embolus für Hahnluftpumpen oder mit Fortin'schen Scheibenventilen versehene leicht eine Anwendung auf alle übrige gemacht werden kann. Es ist cc die messingne Bodenplatte mit dem massiven cylindrischen Stücke kk, worin die Vertiefung mit einer weiblichen Schraube geschnitten ist, um die männliche Schraube der Kolbenstange l hineinzuschrauben und dadurch zugleich die beiden Endplatten des Embolus ein-

Fig. 79.

1 G. XX. 96.
2 Journ. de Phys. LXII. 189. LXVII. 130.

ander mehr zu nähern. Den oberen Theil desselben bildet die Messingplatte d d mit einem hohlen abgekürzten Kegelstücke e e, worin der Cylinder k k des unteren Stückes genau paſst, und welcher durch die zinnenen hohlen Ringe γγ, γγ.... umgeben ist. Das massive Stück Messing e e ist aber zuvor mit mehreren Lagen naſs umgewickelten und dann getrockneten Leders i i umgeben worden, über welches die zinnenen Ringe gezwengt sind, damit sie hierdurch einige Elasticität erhalten. Letztere werden durch die zusammengeschraubten Endplatten festgepreſst, dann wird der ganze Kolben genau abgedreht, so daſs er sich festschlieſsend im Stiefel bewegt, wobei bloſs die scharfen Kanten unten und oben so weit abzustoſsen sind, daſs kein Schaben oder Schneiden derselben an den Wandungen des Stiefels statt findet, der Embolus wird endlich mit Pomade stark eingerieben und in den Stiefel gebracht. Hiernach erhalten sowohl die zinnenen Ringe, als auch insbesondere der messingne, etwas konische hohle Cylinder e e so viel Federkraft, als erforderlich ist, um die geringe ungleiche Ausdehnung der Metalle durch Wärme zu compensiren. Sollte aber der Embolus durch langen Gebrauch etwas abgerieben werden, wie jedoch kaum zu befürchten ist, so könnte man oben einen zinnenen Ring wegnehmen, die bleibenden Ringe aber durch das festere Eindrücken des verjüngten Cylinders e e etwas mehr ausdehnen und unten einen neuen Ring hinzufügen. Wenn man aber einen bloſs metallenen Embolus für unzulässig hält, so wird statt des Zinns zuerst genäſstes, dann mit Pomade eingeriebenes, weiſses Leder genommen und das Ganze abgedreht. Das Leder erhärtet mit der Zeit sehr und ein abgenutzter Embolus müſste daher neues Leder erhalten. Uebrigens kann ein guter Embolus bei stetem Gebrauche leicht zehn und mehr Jahre ausdauern.

e) Die Ventile sind entweder Blasenventile oder metallene. Zu den ersteren nimmt man entweder ein Stück Thierblase, oder Wachtaffent. Letztere Substanz mag in England besser seyn, als man sie auf dem Continente erhält, weswegen die englischen Künstler sie vorziehen[1], statt daſs ich sie allezeit zu steif und

---

1 Es heiſst meistens: ein Stück geölter Taffent. Ob bloſser Taffent in Oel getränkt luftdicht schlieſst, weiſs ich nicht und möchte es fast bezweifeln, obgleich die englischen Künstler meine Frage dahin beantworteten, daſs die Ventile aus *geöltem Taffent* beständen.

spröde gefunden habe. Dagegen ist ein gleichmäſsig dickes, mit keinen Fetttheilchen überzogenes Stück einer Schweinsblase sehr brauchbar. Man bindet dieses naſs auf, damit es durch das Trocknen recht straff und eben werde, und tränkt es dann mit Oel. Die Hauptsache beruht darauf, daſs die Fläche, welche dadurch bedeckt wird, ohne Politur recht eben geschliffen sey. Meistens hat das Löchelchen, welches dadurch bedeckt wird, 0,6 bis 0,8 Lin. Durchmesser, und da man bei den englischen Luftpumpen der besseren Künstler nur eine Oeffnung antrifft, so muſs dieses wohl dem Vorschlage Smeaton's, die Ventilplatte mit sieben feinen Löchelchen zu durchbohren, vorzuziehen seyn. Gute Blasen-Ventile schlieſsen sehr genau und sind ausnehend dauerhaft, es kommt aber zuweilen etwas dickes Oel oder ein sonstiger kleiner Körper zwischen die Flächen des Metalls und der Blase, wodurch das genaue Verschlieſsen gehindert wird.

Aus der gegebenen Uebersicht der Luftpumpen folgt, daſs unter den Metallventilen nur die Cuthbertson'schen Kegelventile, die Fortin'schen Scheiben-Ventile und die Senguerd'schen Hahnen in Betrachtung kommen, welche letztere den Metallventilen füglich zugezählt werden. Die Kegelventile erfordern eine genaue Bearbeitung; denn da der Konus des Embolus an der Kolbenstange festsitzt und noch auſserdem durch die Stange des Bodenventils, die sich in ihm auf- und abwärts schiebt, unbeweglicher gemacht wird, so muſs er nothwendig in den Körper des Embolus sehr genau passen, weil sonst ein Zwischenraum entstehen würde, wenn dieser sich im mindesten schief bewegte und eins von den drei Stücken etwas excentrisch wäre. Aus dieser Ursache mag Reiser's Vorrichtung empfehlenswerth seyn, wonach das Bodenventil abgesondert für sich geöffnet und geschlossen wird.

Fortin's Scheiben- oder Schieber-Ventil ist sinnreich ausgedacht und gehört in vollendeter Ausführung gewiſs unter die besten Constructionen der Luftpumpen, wenn es nicht den Preis vor allen übrigen davon trägt. Ein groſser Vortheil liegt schon darin, daſs man es mit lauter geraden Flächen zu thun hat und der Embolus aus einem einfachen Cylinder mit ebener oberer und unterer Fläche besteht, welcher willkürlich um seine Axe gedreht jederzeit genau schlieſst, die Ausführung ist jedoch äuſserst schwierig. Im Allgemeinen erfordert es schon

die sichere Hand und den anhaltenden Fleiſs eines geübten Künstlers, den Schieber, insbesondere in der Länge für zwei Stiefel, überall mit parallelen Flächen herzustellen, noch schwieriger aber ist es, die drei sich berührenden Flächen völlig eben und genau schlieſsend zu verfertigen, so daſs nicht die mindeste Luft eindringen kann, indeſs bieten diese Ventile dennoch keineswegs unüberwindliche Schwierigkeiten dar, geben aber dagegen, in gehöriger Vollkommenheit ausgeführt, eine Art Luftpumpen, welche nach meiner Ueberzeugung alle bisher vorgeschlagenen weit übertreffen, indem sie namentlich auch den Vortheil gewähren, daſs sie des Oels gar nicht bedürfen und keine Fugen an ihnen durch Leder verschlossen werden, welches vielleicht nie den Zutritt sehr kleiner Antheile von Luft völlig ausschlieſst. Inzwischen darf man nicht bei der mangelhaften, von Fortin angegebenen Construction stehen bleiben, sondern muſs dieselbe auf folgende eben so einfache als sichere Weise einrichten. Die Figur, welche einen verticalen Durchschnitt dieser Luftpumpe darstellt, zeigt zugleich ihren Bau und die Art ihrer Wirksamkeit. Die beiden bereits gebohrten und geschliffenen Stiefel A und B werden unten in die massive Metallplatte m m′ mit den an ihren Enden M und M′ geschnittenen Schrauben eingeschraubt, und zwar so fest, daſs sie damit für immer unbeweglich verbunden bleiben; die oberen Enden derselben l und l′ sind schon vorher in die ganz gleiche Platte n n′ eingeschliffen, werden aber erst nach dem Einschrauben der unteren in diese ihre Oeffnungen eingesteckt und festgelöthet. Ist dieses geschehen, so dürfen die oberen und unteren Enden der Stiefel weder hervorragen, noch vertieft seyn, sondern müssen mit den Platten m m′ unten und n n′ oben eine vollkommen ebene, mattgeschliffene Fläche bilden. Bevor diese völlig geebnet wird, senkt der Künstler in die schon vorher gebohrten Löcher der oberen und unteren Platten das gemeinschaftliche Verbindungsrohr h h′ h″ herab und löthet auch dieses unten in dem Loche i i′ und oben in c c′ fest. Diese Röhre ist mit drei Kegeln von zunehmender Gröſse versehen, nämlich dem kleinsten α für die untere Platte, dem etwas dickeren β, welcher bestimmt ist, ein aufgeschmirgeltes vierkantiges Stück darauf zu stecken, woran die unter den Teller führende Röhre befestigt wird, und dem oberen γ, dessen Dicke so groſs seyn muſs, daſs die beiden unteren ungehindert durch die für

Fig. 92.

ihn bestimmte Oeffnung gehen. Es dürfte dann am vortheilhaftesten seyn, auch das genannte vierkantige Stück auf dem Kegel β festzulöthen, da die Maschine nach ihrem Baue des Reinigens von verdicktem Oele nicht bedarf, und wäre bei etwaiger Verstopfung eine Reinigung nöthig, so wird die seitwärts durch das vierkantige Stück gebohrte Oeffnung durch Wegnahme des unter den Recipienten führenden Verbindungsrohrs frei, der durch die verticale Röhre $h h' h''$ gehende Canal aber ist nach Wegnahme der oberen und unteren Deckelplatten von beiden Seiten zugänglich und es dient dabei sehr zur Festigkeit und zum luftdichten Schliefsen, wenn die Hauptstücke der Maschine, nämlich die beiden Stiefel und der zu ihnen führende gemeinschaftliche Canal, ein unzertrennliches Ganzes bilden.

Die Hauptaufgabe für den Künstler ist dann die Verfertigung des oberen und unteren Schiebers. Letzterer besteht aus einer überall gleichmäfsig dicken, auf die Fläche $m m'$ genau aufgeschliffenen, der Haltbarkeit wegen einen Zoll dicken Platte $p p'$, welche durch eine gegen ihre untere Seite drückende, vorn und hinten aufwärts gebogene und an der Platte $m m'$ festgeschraubte, dünnere Platte getragen und fortwährend gegen $m m'$ gedrückt wird. Um die beiden schliefsenden Flächen gegen Staub zu schützen, ist es vortheilhaft, die Platte $m m'$ an beiden Seiten so weit überstehen zu lassen, dafs der Schieber $p p'$ bei seiner Bewegung rechts und links nie über dieselbe hinausragt. Der Mechanismus des Exantlirens wird aus dem blofsen Anblicke der Figur ersichtlich. Hiernach ist nämlich der Kolben P aufsteigend, und indem hierdurch im Stiefel A ein Vacuum erzeugt wird, strömt die Luft aus dem Recipienten durch das zum Kegel β führende Rohr, dann durch den Canal in $h' h$ in die Oeffnung ε und aus δ in den Stiefel, während der Embolus P′ herabgeht und die in ihm befindliche Luft durch das mit einem Ventile versehene Loch s' ins Freie heraustreibt. Sind beide Kolben, P mit der oberen, P′ mit der unteren Deckelplatte in Berührung gekommen und wird die Kurbel nach der entgegengesetzten Seite bewegt, so ruhen wegen des angebrachten todten Ganges beide Kolben so lange, bis der hierzu dienliche Mechanismus den Schieber $p p'$ so weit rechts bewegt hat, dafs die Oeffnung δ unter ε, die Oeffnung ε aber unter ε' kommt, wobei zugleich der Canal s' durch die Platte m' fest verschlossen wird, der andere

Canal s aber in den Stiefel mündet und der aufsteigende Kolben P′ exantlirt, der niedergehende P aber die unter ihm befindliche Luft durch s austreibt.

Es ist leicht zu erwarten, dafs oberhalb der Kolben ein ähnlicher Mechanismus eingerichtet ist, welcher jedoch durch eine eigene Figur versinnlicht werden mufs. Die Fläche n n′ m m′ ist die Grenze derjenigen Platte, in welcher die Stiefel festsitzen. Ueber diese ist eine andere m t q m′ luftdicht festgeschraubt, welche die Stopfbüchsen der Kolbenstangen trägt. Sie ist an der Seite t q schräg geschnitten, so dafs die Schieberplatte mit ihrer Seite o q unter dieselbe pafst und die Flächen beider sich genau luftdicht berühren. Die entgegengesetzte Seite des Schiebers r n′ wird durch einen Rahmen s t′ fest angedrückt, welcher durch die Schrauben $\gamma\gamma'$ in der Leiste u v gestellt werden kann. In den auf der Platte m n m′ n′ fest aufliegenden Schieber sind bei β und ε Löcher gebohrt, welche durch einen Canal verbunden werden, oder beide schräg gebohrte Löcher laufen an ihren Enden in einander. Auf gleiche Weise ist von ε aus in die untere Platte ein Canal gebohrt, welcher in die Röhre α mündet. Die Löcher bei δ und δ', beide durch nach Aufsen sich öffnende Blasenventile gesichert, bedürfen keiner näheren Beschreibung, auch ist es kaum nöthig, den Mechanismus des Exantlirens besonders nachzuweisen. Es ist nämlich für die angenommene Stellung des Schiebers der Kolben im Stiefel A aufsteigend, so dafs die über ihm befindliche Luft aus δ entweicht, der im Stiefel B aber herabsinkend, wonach also die Luft aus dem Recipienten durch den Canal im Verbindungsrohre, dann durch $\varepsilon\beta$ in den Stiefel gelangt, bis beide Bewegungen der Kolben beendigt sind und der Schieber o r n′ q durch das in der Zeichnung angedeutete Getriebe h h′ und das an derselben Stange befindliche g g′ so weit links geschoben wird, dafs die Oeffnung δ' im Stiefel B mündet, die Oeffnung β aber unter ε kommt und dagegen ε an die Stelle von ε' gelangt, worauf die entgegengesetzte Bewegung der Kolben erfolgt.

Fig. 93.

Die Luftpumpe ist hiernach eine zweistiefelige doppeltwirkende und ihre Verfertigung erfordert allerdings einen sehr geübten Künstler, ist sie aber einmal hergestellt, so gewährt sie wegen der Einfachheit ihrer Construction und der grofsen Dauerhaftigkeit aller Theile überwiegende Vortheile, auch scheint

mir diese die einzige zu seyn, bei welcher die wirklichen Leistungen mit den durch Rechnung gefundenen zusammentreffen müssen. Nirgends ist der mindeste schädliche Raum vorhanden, die Kolben sind massiv und bestehen der Hauptsache nach aus über einander liegenden Scheiben von Leder, welche zwischen zwei Scheiben von Messing zusammengepreſst sind und genau kantig abgedreht keinen Raum neben sich lassen. In der ganzen Pumpe befindet sich kein Oel, welches sich leicht verdickt und in die Canäle eingedrungen diese verstopft; die fertigen Kolben werden vielmehr mit der angegebenen Pomade tüchtig eingerieben, dann aber wird diese mit etwas Leinwand so weit weggenommen, daſs nur noch die Oberfläche recht geschmeidig und leicht gleitend bleibt. Eben dieses geschieht mit den Kolbenstangen und den Flächen der Schieber, wobei es jedoch rathsam ist, nach längerem Nichtgebrauch der Maschine und überhaupt von Zeit zu Zeit den Staub mit etwas Leinwand wegzunehmen und die Kolbenstangen nebst den Fugen und freiwerdenden Flächen der Schieber mit einem fettig gemachten Läppchen abzuwischen. Daſs übrigens die sehr massiven Ventile nicht abgenutzt werden, vielmehr durch den Gebrauch sich stets genauer auf einander schleifen, versteht sich schon von selbst. Endlich wird oben auf die Stopfbüchse eine einzige durchbohrte Scheibe Leder gelegt, durch welche die Kolbenstange geht und deren Bestimmung ist, die etwa an letztere sich anlegenden Staubtheilchen abzuhalten, damit sie nicht in die Stopfbüchsen dringen und daselbst ein Schleifmittel bilden.

Die Fabrication der Hahnen an sich ist so einfach, daſs sie keiner näheren Beschreibung bedarf, und es genügt daher, nur noch den Mangel derselben zu berühren, welchen man ihnen vorgeworfen hat, nämlich daſs sie durch fortgesetztes Drehen abgenutzt werden und dann nicht mehr gehörig schlieſsen sollen. Mir scheint jedoch dieser Einwurf gegen ihre Anwendbarkeit wenig begründet, denn sind sie ursprünglich genau gearbeitet und etwas stark konisch, so erfordert es eine sehr lange Zeit, bis sie so weit abgenutzt werden, daſs sie etwa 0,25 Lin. tiefer in ihre Oeffnungen hineingehen, und selbst in diesem Falle würde die Maschine an Brauchbarkeit noch kaum etwas verloren haben. Indeſs scheint es mir in dieser Beziehung rathsam, sowohl das Bodenstück, als auch den Hahn aus Kanonenmetall zu verfertigen, weil dieses sich feiner bearbeiten läſst

und dem Abreiben durch seine Härte und Zähigkeit weniger ausgesetzt ist[1].

Um eine vorzüglich gute Hahnluftpumpe zu erhalten, ist es nicht unwichtig, folgende Art ihrer Verfertigung zu befolgen. Bei den einfach wirkenden und hauptsächlich bei den doppelt wirkenden ist vor allen Dingen für das genaueste Schliefsen des unteren Hahns und Kegels zu sorgen, weil man für die letzten Kolbenzüge zur Erhaltung einer sehr weit getriebenen Verdünnung die Mitwirkung des obern Hahns leicht aufheben könnte. Zu diesem Ende mufs zuerst der Stiefel so hergestellt seyn, dafs seine Oeffnung vollkommen cylindrisch ist, seine beiden Endflächen aber einander parallel und auf seiner Axe perpendiculär sind. Demnächst werden Deckel und Bodenstück vorläufig zugerichtet, so dafs ihr genauester Schlufs noch nachfolgen mufs, und dann wird der Embolus mit seiner Stange so weit verfertigt, dafs letztere sich in der gleichfalls hergestellten Lederbüchse oder metallenen Stopfbüchse gehörig bewegt. Auf diese Weise wird es möglich, die untere Fläche des Embolus mit der des Stiefels genau in eine Ebene zu bringen und diese sowohl auf die Ebene des Bodenstücks, als auch den hervorstehenden Konus in die Vertiefung desselben und endlich den Ansatz am Stiefel in die Vertiefung eben jenes Bodenstückes so genau einzuschleifen, dafs alle Flächen vollkommen auf einander passen und festgeschraubt ohne zwischenliegendes Leder luftdicht schliefsen. Hiernächst wird die Oeffnung für den Hahn gebohrt und bis so weit erweitert, dafs die hierdurch zugleich weggenommene Spitze des Konus etwas weniger als eine Linie Durchmesser hat, und es ist einleuchtend, dafs unter dem Embolus keine Spur eines schädlichen Raumes bleibt, wenn der Hahn eingeschliffen

---

1 v. Horner hält es in seiner oben mitgetheilten Beschreibung für zweifelhaft, dafs ein Hahn so genau schliefse, um den ganzen atmosphärischen Luftdruck auszuhalten, allein ich habe mich noch ganz kürzlich von dieser Möglichkeit bestimmt überzeugt. Es kommt hierbei alles auf die Genauigkeit an, womit der Künstler arbeitet. Messingne Hahnen in Büchsen von demselben Metalle haben sich vielfach als sehr brauchbar bewährt, doch halte ich die Verfertigung derselben aus Kanonenmetall für besser. Die neuerdings vorgeschlagene Composition, nämlich 80 Th. Zinn auf 20 Th. Antimon für die Hahnen und 86 Th. Zinn auf 14 Th. Antimon für die Büchsen, scheint mir bis zu weiterer Erfahrung nicht geeignet. S. Quarterly Journ. N. Ser. No. XIV. p. 410.

ist, während der Konus in seiner Vertiefung steckt, wobei dann allerdings die Kolbenstange schon so bezeichnet oder vorgerichtet seyn mufs, dafs sie bei künftigen Bewegungen keine Drehung um ihre Axe erhält, damit die gekrümmte Fläche der Konusspitze allezeit wieder pafslich mit der Fläche des Hahns in Berührung komme. Bei doppeltwirkenden Luftpumpen ist es dann zwar leicht, die obere Fläche des Stiefels und des Embolus mit der des Deckelstückes in unmittelbare Berührung zu bringen, aber es ist schwierig, einen gleich genauen Contact der Fläche des oberen Konus und seiner Vertiefung herzustellen, und es hängt von der Geschicklichkeit des Künstlers ab, wie weit er dieses zu erreichen vermag.

Am einfachsten und mit vollkommener Sicherheit eines günstigen Erfolgs geschieht dieses auf folgende Weise. Da die Kolbenstange mitten durch das Deckelstück des Stiefels geht, so hat es keine Schwierigkeit, letzteres genau in der Mitte zu durchbohren, die statt der Lederbüchse dienende metallene Stopfbüchse mit dem sie zusammenpressenden Ringe zu verfertigen und das Deckelstück auf den Ansatz des Stiefels genau aufzupassen. Hiernächst wird der Embolus ohne die zinnenen Scheiben so abgedreht, dafs er fast genau pafst, ohne jedoch ganz vollständig zu schliefsen. Alsdann bohrt man die Höhlung für den Konus in das Deckelstück, schleift den Konus selbst genau ein und ebnet seine untere Fläche so, dafs sie völlig in der ebenen Fläche des Deckelstückes liegt, ohne im mindesten hervorzuragen oder vertieft zu seyn. In die Axe des Konus wird dann von unten herauf ein Loch gebohrt, hierin eine weibliche Schraube geschnitten, eine stark anziehende männliche Schraube hierzu verfertigt und diese durch ein im oberen Deckel des Embolus befindliches Loch so gesteckt, dafs man sie ein wenig dem Centrum nähern und davon entfernen kann[1]. Endlich schraubt man den Konus auf dieser so fest, dafs er genau in seine Oeffnung pafst, wenn die Stange durch ihre Büchse gesteckt ist, wie man aus der gänzlichen Berührung beider Flächen, der unteren des Deckelstücks und der oberen des Embolus, ab-

1 Zum festeren Anziehen der Schraube des Konus kann man dem letzteren unten einen vierkantigen Ansatz geben und diesen durch die Oeffnung in der oberen Platte des Embolus stecken, um ihn an der gehörigen Stelle vermittelst der Schraube zu befestigen.

nehmen kann. Die Verfertigung der übrigen Theile der ganzen Maschine bedarf dann für erfahrne Künstler keiner weiteren Anleitung.

Hydraulische Luftpumpen.

Die Erfindung der Luftpumpe schlofs sich unmittelbar an den Torricelli'schen Versuch an, vermittelst einer hinlänglich hohen Säule von Wasser oder Quecksilber einen luftleeren Raum zu erzeugen, und da dieses durch sehr einfache Mittel geschehen kann, so war es natürlich, dafs Vorschläge hierzu damals geschahen, als die Mechanik noch mehr in der Kindheit war, jetzt aber, wo jede mittelmäfsige Kolbenpumpe auch die beste hydraulische weit hinter sich läfst, gehören die letzteren eben so wenig unter die anwendbaren physikalischen Apparate, als die früher vorgeschlagenen Wasser- oder Oel-Barometer. Hierin liegt ein genügender Grund, warum ich das Princip derselben kurz angeben und mich bei der Beschreibung der einzelnen Vorschläge nicht lange aufhalten werde. Dafs übrigens dieser Vorwurf gegründet sey, läfst sich bald zeigen. Mit Wasser zuvörderst kann schon an sich kein Vacuum hergestellt werden, weil sich aus demselben Dämpfe erzeugen, die in der vorliegenden Beziehung dem Wesen nach gleich nachtheilig als Luft sind, aber auch ausgekochtes Wasser nimmt in Berührung mit Luft allezeit von diesem eine bedeutende Menge auf und giebt sie im luftverdünnten Raume wieder ab. Nimmt man die Unbehülflichkeit und Gröfse nebst der lästigen Manipulation eines solchen Apparates hinzu, so mufs man von eigentlich hydraulischen Wasser- und Oel-Luftpumpen wohl ein für allemal abstrahiren. Aber auch der Brauchbarkeit der Quecksilber-Luftpumpen stehen unübersteigliche Hindernisse entgegen, weil gerade die Bedingung, wodurch das Torricelli'sche Vacuum erhalten wird, nämlich das Auskochen des Quecksilbers in der Barometerröhre, bei ihnen nicht anwendbar ist. Giefst man gewöhnliches Quecksilber in eine Glasröhre, ohne dafs es verstattet ist, die an den Wänden hängende Luft durch Schütteln zu entfernen, und kehrt diese Röhre als Torricelli'sche um, so erhält man allerdings ein Vacuum, aber keineswegs ein solches, wie es die besseren Luftpumpen geben, so dafs man sogar auch durch dieses einfache Mittel der Evacuirung den beabsichtigten

Zweck nicht erreicht. Bei jeder wirklichen Construction einer Quecksilber-Luftpumpe kann aber das Quecksilber den Hahnen oder Ventilen nicht unmittelbar genähert werden und es bleibt also auf jeden Fall ein schädlicher Raum, das Quecksilber selbst aber wird mit Fett, Staub und Feuchtigkeit verunreinigt, füllt daher die Räume nicht als zusammenhängende Flüssigkeit überall aus, und wenn man hierzu das grofse Gewicht der für gröfsere Maschinen erforderlichen Masse und die stete Gefahr des Verschüttens nimmt und endlich berücksichtigt, dafs Hahnen und Ventile für solche Maschinen auf gleiche Weise erforderlich sind, als für Kolben-Luftpumpen, dafs also blofs der Embolus entbehrt wird, welcher sich der Natur der Sache nach aus Metall und Leder ungleich besser den Wandungen des Stiefels anpassend verfertigen läfst, als das Quecksilber schon der Capillarität wegen sich an diese anschliefst, so kann die Unmöglichkeit der Verfertigung genauer Quecksilber-Luftpumpen nicht weiter bezweifelt werden.

Alle hydraulische Luftpumpen sind auf das *Boyle'sche Gesetz*[1] gegründet, dafs die Dichtigkeit der Luft der zusammendrückenden Kraft direct proportional sey. Man bringt daher unter die zu exantlirenden Recipienten eine Säule irgend einer Flüssigkeit, welche herabsinken kann und dadurch die über ihr befindliche Luft so weit ausdehnt, dafs die Verminderung ihrer Elasticität der Höhe der durch äufseren Luftdruck gehobenen Flüssigkeitssäule proportional ist. Wird also die Höhe der durch den ganzen äufseren Luftdruck getragenen, unter der Torricelli'schen Leere befindlichen Flüssigkeitssäule durch B, ihr specifisches Gewicht durch γ bezeichnet, beide Gröfsen der unter dem *Guericke'schen Vacuo* durch b und γ', so ist die Dichtigkeit der verdünnten Luft $= B\gamma - b\gamma'$, und da in diesem Falle das specifische Gewicht des Quecksilbers als Einheit angenommen zu werden pflegt, so ist sie $= B - b\gamma'$, worin B die jedesmalige Barometerhöhe bedeutet. Für Quecksilber ist auch $\gamma' = 1$, für Wasser $= \frac{1}{13,6}$, wenn bei beiden der Einflufs der Temperatur vernachlässigt wird, und die Verdünnung wäre vollständig, d. h. es wäre ein Torricelli'sches Vacuum unter dem Recipienten hergestellt, wenn $B - b\gamma = 0$ würde, wogegen

1 Vergl. *Gas.* Bd. IV. S. 1026.

die Dichtigkeit der noch unter dem Recipienten befindlichen Luft $\Delta = B - b\gamma'$ von 1 bis 0 abnimmt, wenn $b\gamma' = 0$ oder $= 1$ wird, die jedesmalige Barometerhöhe $= B$ und die ihr zugehörige Dichtigkeit der atmosphärischen Luft ohne Rücksicht auf Temperatur und Feuchtigkeitszustand als Einheit angenommen.

Cazalet[1] wollte die Verdünnung durch Wasser bewirken und daher den Recipienten mit einem grofsen, überall verschlossenen Wassergefäfse verbinden, von welchem eine 34 F. lange Röhre bis in die unteren Stockwerke des Hauses herabgehen sollte. Wenn dann der Hahn des Recipienten geöffnet wurde, so mufste die Luft aus demselben in das Wassergefäfs strömen, das Wasser aus letzterem aber in ein am unteren Ende der langen Röhre befindliches Gefäfs abfliefsen, in der Röhre aber eine Säule $b = 13{,}6\,B - \Delta$ zurückbleiben, und da Δ auf keine Weise nach dieser ersten Operation $= 0$ seyn konnte, so sollte der Hahn zu dem Recipienten geschlossen, das Wassergefäfs abermals gefüllt und das angegebene Verfahren so lange wiederholt werden, bis Δ dem Verschwinden nahe gebracht, also möglichst genau $b = 13{,}6\,B$ seyn würde. Michel[2] machte später Ansprüche auf die Priorität dieser Erfindung, welcher dieser Name kaum überall gebührt.

Die Erfindung der Quecksilber-Luftpumpen gebührt dem berüchtigten Emanuel Schwedenborg[3]. Nach ihm soll der Recipient B auf einen Tisch gesetzt werden, unter welchem sich ein dicht angeschraubtes eisernes Gefäfs E befindet, an dessen unteres verjüngtes Ende ein Schlauch ff g mit einem eisernen oder gläsernen Rohre g g gebunden werden soll. Unter dem Recipienten sind im Tischblatte zwei Löcher, eins z mit einem Stöpsel verschlossen, durch dessen Oeffnen wieder Luft in die exantlirten Campanen zugelassen wird, das andere c führt in das genannte Gefäfs und ist mit einem Ventile versehen, welches sich in letzteres öffnet, in welchem sich noch ein zweites, Fig. 94.

---

1 Journ. de Phys. 1789. Mai. T. XXXIV. p. 334. Gren's Journ. I. S. 478.

2 Journ. de Phys. T. XXXV. p. 209.

3 Miscellanea observata circa res naturales, et praesertim circa mineralia, iguem et montium struta. Lips. 1722. 8. Gren's Journ. IV. S. 407.

nach Aufsen sich öffnendes Ventil d befindet. Wird also das untere Rohr am Schlauche in die Höhe gebogen und Quecksilber eingegossen, so dafs Schlauch und Gefäfs sich damit füllen, dann die Röhre herabgebogen, so sinkt das Quecksilber herab, ihm folgt die Luft aus dem Recipienten durch das Ventil c und es entsteht Luftverdünnung. Erhebt man das Rohr dann wieder, so füllt sich das Gefäfs abermals, indem die enthaltene Luft durch das Ventil d entweicht, und durch beide abwechselnd wiederholte Operationen wird die Verdünnung so stark wie möglich gemacht. Auf diesem einfachen Principe beruhen alle spätere Quecksilberluftpumpen.

Am bekanntesten ist diejenige Construction geworden, welche Joseph Baader in Vorschlag gebracht hat [1] und welche eigentlich unter allen die gröfste Einfachheit mit der stärksten Wirksamkeit verbindet, weil die später hinzugesetzten Kolben und Gewerke nicht ohne Oel bestehen können, dadurch aber das Quecksilber verunreinigen und für seinen Zweck untauglicher machen. Unter dem Hahne cb, welcher theils gerade durchbohrt ist, um den Zugang zu dem auf a geschraubten Teller zu eröffnen, theils seitwärts, damit die Luft aus seinem Ende b entweichen könne, befindet sich das Gefäfs CC aus Eisen (oder man könnte es auch aus Glas machen) mit der engen Röhre ff. An dieser ist das in die Höhe gebogene Stück m befindlich, welches in das Gefäfs D führt. Letzteres hat die aufstehende enge Röhre pp mit dem blechernen Trichter A und die herabgehende Röhre n mit dem Hahn o, welcher nebst dem Röhrchen aus Eisen gemacht seyn mufs und daher nicht viel Oel bedarf, jedoch wird es nicht ganz vermeidlich seyn, dafs das Quecksilber durch ihn beschmutzt werde und sich zwischen die Fugen desselben dränge. Dieser Vorwurf, nebst den allgemeinen oben bereits angegebenen, trifft die Maschine allerdings, auch dafs die Röhre des Hahnstücks cb einen schädlichen Raum giebt, und die grofse Menge des erforderlichen Quecksilbers, wenn die ohnehin langwierige Arbeit des Exantlirens nur etwas abgekürzt werden soll; weniger dagegen der durch Gehler gemachte, dafs die Röhren ff und pp zu enge seyen und da-

Fig. 95.

1 L. Hübner's physikal. Taschenbuch. Salzb. 1784. S. 650. Hindenburg de antlia Baaderiana hydrostatico-pneumatica. Lips. 1787. 4. Lichtenb. Mag. Th. V. St. 2. S. 91.

durch die Arbeit verzögerten, da die erstere ff ohne Nachtheil etwas weiter seyn darf, indem sie gleichfalls Luft aus dem Recipienten aufnimmt, die letztere pp aber auch bei nur einer Linie im Durchmesser das Einschöpfen des Quecksilbers nicht sehr verzögern würde. Der Mechanismus der Maschine ist übrigens von selbst klar. Ist nämlich der Teller mit dem Recipienten bei a aufgeschraubt, so wird Quecksilber in A eingegossen, bis es unter den Hahn cb steigt und alle hierdurch verdrängte Luft durch diesen ausströmt; dann wird durch Umdrehen dieses Hahns die Communication mit dem Recipienten eröffnet, durch Drehung des Hahns o läuft das Quecksilber in ein untergestelltes Gefäfs, die Luft aus dem Recipienten vertheilt sich im Gefäfse CC und in der Röhre ff und nach Verschliefsung der Hähne cb und o beginnt der Procefs aufs Neue.

Baader hat nachher diese Luftpumpe dahin abgeändert, dafs er dem unteren Stücke m ein Gewerke aus zwei Scheiben gab, die sich über einander drehen, ohne die Verbindung der Röhren ff und pp zu unterbrechen. Aufserdem wird der Trichter A mit einem etwas erhöhten und gröfseren Gefäfse vertauscht, welches fast die gesammte Menge des gebrauchten Quecksilbers aufnehmen kann. Haben also die einzelnen Theile diejenige Lage, welche die Zeichnung darstellt, so ist das Gefäfs CC nebst beiden Röhren bis an das gröfsere Gefäfs über dem Trichter A mit Quecksilber gefüllt; alsdann wird nach dem Umdrehen des Hahns bc letzteres Gefäfs nebst der Röhre pp in eine horizontale Lage niedergebogen und das Quecksilber sinkt aus CC herab, um der Luft aus dem Recipienten Platz zu machen, und durch Wiederholung dieser Operation geschieht die Exantlirung. Es soll übrigens das Gefäfs CC nicht mehr als 36 Kub. Zolle Inhalt haben, damit das darin befindliche Quecksilber nur 20 Pfd. wiege, weil man dasselbe sonst mit der Hand zu heben nicht im Stande seyn würde. Hiermit ist indefs die Unbrauchbarkeit solcher Luftpumpen schon sattsam zugestanden.

Nicht minder allgemein bekannt ist Hindenburg's[1] Luftpumpe geworden. In dem eisernen, inwendig polirten Stiefel

---

1 C. F. Hindenburg Antliae novae hydraulico-pneumaticae mechanismus et descriptio. Lips. 1787. 4. Lichtenberg Mag. Th. V. St. 2. S. 81.

Fig. 96. GH wird der Embolus mit der eisernen Stange IK auf und nieder bewegt und die Schrauben aa nebst dem stellbaren Ringe K verhindern, dafs er nicht zu hoch und zu tief gehoben werde. Der Anfang der krummen Röhre bei H soll aus Eisen, gebranntem Leder, elastischem Harze oder einer sonstigen dauerhaften Substanz bestehen, um dem ersten Andrange des niedergepresten Quecksilbers zu widerstehen, die Röhre LM und das Gefäfs NP sollen aber von Glas seyn, das Hahnstück X dagegen und der Hahn O selbst wieder von Metall. Man sieht leicht, dafs bei einer durch die Figur angegebenen Stellung des Hahns das durch den Embolus niedergedrückte Quecksilber die Röhre LM und das Gefäfs NP bis an die Oeffnung des Hahns anfüllen, die Luft aber durch die Oeffnung h austreiben mufs. Wendet man den Hahn, so kommt der Raum unter dem Recipienten auf dem Teller RR mit dem Gefäfse NP in Verbindung und die Luft wird aus ersterem in letzteres einströmen, wenn man den Embolus wieder in die Höhe zieht, womit also die Methode des Exantlirens gegeben ist.

Auch aus der neuesten Zeit giebt es eine Menge Vorschläge zur Construction der Quecksilberluftpumpen, die ich jedoch übergehe, indem ich mich blofs auf die Beschreibung der durch Kemp[1] angegebenen beschränke. Die Luftpumpe ist eine zweistiefelige von eleganter Form, aus drei über einander befindlichen Absätzen bestehend, deren unterer vorn auf vier Säulen ruhet, wovon die beiden Stiefel die mittleren bilden. Eine Fig. 97. verticale Durchschnittszeichnung durch einen dieser Stiefel möge zur Erläuterung ihrer Construction dienen. Durch die Kolbenstange cc, welche oben in eine gezahnte Stange V übergeht und durch das Getriebe D vermittelst einer Kurbel bewegt wird, erhält der Embolus R seine Bewegung im Stiefel A, welcher oben durch eine Lederbüchse luftdicht verschlossen ist. Ganz oben befindet sich der Teller mm', aus dessen Mitte die Röhre LHH in das Verdünnungsgefäfs F herabgeht, welches oben mit einem Trichter G und einem darin befindlichen, nach Aufsen sich öffnenden Ventile versehen ist. Unten an der Mündung der Röhre H befindet sich das Ventil M, dessen Bestimmung ist, diese Mündung zu verschliefsen, wenn es gehoben

1 Edinbourgh Journ. of Nat. and Geol. N. VIII. p. 95. Daraus in der Wiener Zeitschrift Bd. VIII. S. 193.

wird. Aus dem oberen Deckel des Stiefels führt die Röhre P, die in der Zeichnung nur zum Theil angedeutet werden konnte, nach dem zweiten Gefäſse F′ dieser Luftpumpe, und eben so eine Röhre aus dem hier nicht sichtbaren zweiten Stiefel B in das Gefäſs F, aus welchem die Röhre E E nach ihrer Umbiegung in dem Bodenstücke des Stiefels A mündet, während eine gleiche Röhre aus dem zweiten Gefäſse F′ in den andern Stiefel B auf gleiche Weise geleitet ist. Sowohl in den Stiefeln, als auch in den Verdünnungsgefäſsen und den Röhren E E und P befindet sich eine gewisse Menge Quecksilber, welches unter Umständen bis in die Trichter G, G′ steigt, ohne jedoch überzuflieſsen. Es befinde sich dann der eine Kolben R mit dem oberen Deckel des Stiefels A, der andere R′ mit dem Bodenstücke des anderen Stiefels B in Berührung. Wird dann durch die gemeinschaftliche Kurbel der erstere herabgedrückt, der andere hinaufgezogen, so steigt das aus A verdrängte Quecksilber durch die Röhre E E in das Gefäſs F, hebt das Ventil M, welches die Röhre H verschlieſst, und treibt die Luft aus dem Gefäſse F durch das Ventil des Trichters G. Gleichzeitig sinkt das Quecksilber aus dem zweiten Gefäſse F′ durch die Röhre P in den oberen Theil des Stiefels A und durch die Röhre E′E′ in den unteren Theil des Stiefels B, das Ventil des Trichters G′ schlieſst sich, dagegen öffnet sich das Ventil M′ und die Luft dringt aus dem Recipienten durch die Röhre H′H′, deren oberes Ende mit dem der Röhre H H verbunden durch den Teller geleitet ist, in das Verdünnungsgefäſs F′. Bei der angegebenen Bewegung der Kolben wird also das unter dem Kolben R im Stiefel A befindliche Quecksilber durch E E und gleichzeitig das über dem Kolben R′ im Stiefel B befindliche durch die Röhre P′ in das Gefäſs F getrieben, während das Gefäſs F′ sein Quecksilber in den Raum über R durch die Röhre P und in den unter R durch die Röhre E′E′ herabsinken läſst; bei dem entgegengesetzten Kolbenspiele ist der Erfolg der umgekehrte, so daſs also bei jedem die Luft aus einem der Gefäſse ins Freie entweicht, während sie aus dem Recipienten in das andere einströmt, so lange noch eine Verdünnung möglich ist. Die Erfindung ist allerdings sinnreich und man sollte von dieser Pumpe eine der Torricelli'schen Leere fast gleichkommende Verdünnung erwarten, wenn man berücksichtigt, daſs die Röhren E E und E′E′ eine die Länge des Barometers übertreffende Höhe haben, allein es stehen dieser Wirkung einige

unverkennbare Hindernisse entgegen. Ehe sich die Ventile M und M′ heben, dringt allezeit wieder etwas Luft aus den Gefäſsen F und F′ unter den Recipienten, die Ventile der Trichter G und G′ sind schwer zum festen Schlieſsen zu bringen, da sie von Eisen seyn müssen und daher durch das Quecksilber gehoben werden, so lange dieses im Trichter hoch steht, demnächst aber leicht durch das hindurchflieſsende etwas zur Seite gedrückt werden, endlich aber wird das Quecksilber durch das Fett des Embolus und der Lederbüchse sehr beschmutzt und müſste bei etwas groſsen Stiefeln und Gefäſsen in so bedeutender Menge vorhanden seyn, daſs dadurch der Preis sehr erhöht würde. Nur dann läſst sich von dieser Pumpe eine ausgezeichnete Wirkung erwarten, wenn es möglich ist, auch die Kolben und Stopfbüchsen von Eisen zu verfertigen und dadurch das Quecksilber stets bei gehöriger Reinheit zu erhalten.

Groſse Aehnlichkeit mit dieser Maschine hat Sadler's Oel-Luftpumpe[1], bei welcher die den früheren hydraulischen eigenthümlichen Hahnen gleichfalls entfernt sind, auſser einem einzigen zum Abschlieſsen des Tellers und um die Luft wieder unter den exantlirten Recipienten strömen zu lassen, welches bei der eben beschriebenen dadurch geschehen kann, daſs man das Ventil im Trichter des von Quecksilber leeren Verdünnungsgefäſses in die Höhe hebt. Sadler's Luftpumpe hat gleichfalls Kegelventile, eins k oben im Oelbehälter, um die Luft aus demselben zu lassen, zugleich mit einem Röhrchen l m verbunden, durch welches etwa überströmendes Oel wieder in den Stiefel gelangt, und eins e, welches die zum Recipienten führende Röhre verschlieſst. Von ihm aus geht eine Stange durch eine Lederbüchse zum Hebelarme f herab, welcher in g beweglich durch ein Gewicht bei h niedergedrückt wird und daher beim Aufwinden der Kolbenstange durch diese vermittelst der Zunge i und einer von ihr herabgehenden Stange gehoben werden muſs. Wenn der Embolus herabgeht, schlieſst sich das Ventil von selbst und wird noch obendrein durch die Kolbenstange festgedrückt. Nicholson[2] fürchtet zwar, daſs das Oel, welches abwechselnd den Stiefel A oder das Gefäſs B füllt, mit der Zeit Luft aufnehmen könne, auch würde es sich allmälig verdicken,

Fig. 98.

1 G. I. 352.
2 Journal of Nat. Phil. 1798. No. X.

allein hiervon abgesehen ist der ganze Mechanismus einfach und leicht zu verfertigen, auch sichert das Oel bei minder vollkommener Arbeit gegen das Eindringen der Luft; aufserdem ist aller schädliche Raum vermieden und ich glaube daher, dafs diese Luftpumpe unter allen hydraulischen am ersten in Gebrauch zu kommen verdiente, wenn gleich überfliefsendes Oel unangenehme Beschmutzung herbeiführen könnte.

Verschiedene spätere Constructionen von Quecksilber-Luftpumpen glaube ich mit Stillschweigen übergehen zu müssen; denn obgleich sie meistens ganz sinnreich ausgedacht sind, so unterliegen sie doch insgesammt den bereits gerügten Mängeln dieser Maschinen, welche ihre praktische Anwendung hindern, auch würde eine ungefähre Andeutung ihres Mechanismus unverständlich und somit unnütz seyn, eine genaue Beschreibung aber zu viel Raum erfordern. Dahin gehören hauptsächlich die Vorschläge von Patten[1] und von Uthe[2], welcher letztere grofse Aehnlichkeit mit dem von Rommershausen hat, dessen Bemühungen um die Verbesserung dieser Apparate in den neuesten Zeiten am meisten bekannt geworden sind[3].

Uneigentliche Luftpumpen.

Luftverdünnung läfst sich durch so vielfache Mittel erzeugen, dafs man kein Ende finden würde, wenn man sie insgesammt einzeln aufzählen wollte; allein nicht alle hierzu dienliche Vorrichtungen geben sofort eine eigentliche Luftpumpe, weil man hierunter Maschinen zu verstehen hat, durch welche man die Luft aus gegebenen Räumen vermittelst fortgesetzten Exantlirens und unbeschadet der zu untersuchenden Körper bis auf eine sehr geringe zurückbleibende Quantität fortschafft. Solche Maschinen also, vermittelst deren allerdings Luftverdünnung bewirkt wird, ohne dafs ein eigentliches Auspumpen derselben statt findet, mögen daher *uneigentliche* oder *Pseudo-*

1 Ann. of Phil. 1824. Oct. p. 265.

2 Dingler's polytechn. Journ. XVII. S. 272.

3 Kastner Archiv. XV. S. 1. Auch Edelkranz hat eine Quecksilber-Luftpumpe angegeben, deren Einrichtung ich jedoch nicht kenne. S. Nicholson's Journ. VII. 188. Busch Almanach der Fortschr. u. s. w. IX. S. 102.

Luftpumpen genannt werden. Auch von diesen kann hier nur mit wenigen Worten die Rede seyn.

Der Vorschlag, durch Abkühlung von Wasserdämpfen leere Räume zu erzeugen, geschah zuerst durch Dionysius Papinus bei seinen Untersuchungen über die Dampfmaschine, Wilke[1] aber construirte wirklich eine für die Luftverdünnung bestimmte Maschine. Sie bestand aus einem luftdichten messingnen Gefäſse mit rundem Boden und drei durch Hahnen verschlieſsbaren Röhren. Durch die eine derselben, im Boden des Gefäſses befindliche, wurde dieses aus einem kleinen verschlossenen Kessel vermittelst eines Zuleitungs-Rohres mit Wasserdampf gefüllt, bis dieser sich nicht mehr verdichtete, sondern siedend heiſs aus der zweiten oberen Röhre ausströmte, worauf beide geschlossen wurden; die dritte aber, welche zum Teller führte, war gar nicht geöffnet. Um dann in dem gegen das Eindringen der Luft allseitig gesicherten Gefäſse den heiſsen Dampf abzukühlen, war dasselbe mit einem dünnen messingnen, überall etwa 0,25 Zoll abstehenden Mantel umgeben. In den hierdurch gebildeten Zwischenraum wurde kaltes Wasser gegossen, bis es nicht mehr warm aus einem unten befindlichen Röhrchen ablief; dann öffnete man den Hahn der zum Recipienten führenden Röhre und die Luft aus diesem drang in das entstandene Vacuum des inneren Gefäſses. Die Wiederholung dieses Verfahrens muſs zuletzt eine bedeutende Verdünnung geben, stärker als die 130fache, welche Wilke erhalten haben will, vorausgesetzt, daſs alle Theile einer solchen Maschine genau schlieſsen; aber wie höchst unbequem und langwierig eine solche Operation sey, fällt von selbst in die Augen.

Will man eine solche Maschine etwa aus dem Grunde anfertigen lassen, um zu zeigen, daſs die Dämpfe im Zustande ihrer Expansion die Luft aus den durch sie erfüllten Räumen verdrängen und also nach ihrer Verdichtung zu tropfbarer Flüssigkeit ein Vacuum erzeugen müssen, so ist die schon durch Berretrai[2] vorgeschlagene Construction immer noch empfehlenswerth. Ein groſses kupfernes und verzinntes (wohlfeiler

---

1 Abh. d. Kön. Schwed. Acad. d. Wissensch. 1769. Bd. XXXI. S. 31 ff.

2 Carradori in Journ. de Phys. XXXVIII. p. 150. Daraus in Gren Journ. d. Phys. VI. S. 86.

auch von Weiſsblech zu verfertigendes) Gefäſs A hat einen Deckel B, aus welchem bei C eine Röhre mit einem Hahne F und mit dem angeschraubten engeren Röirchen ab, an dessen Ende b ein Schraubengewinde geschnitten ist, herausgeht. Die Röhre geht inwendig bis nahe auf den Boden herab, doch so, daſs die unter derselben befindlichen 3 ℔. Wasser von ihrer Mündung nicht berührt werden. Auf dem oberen Theile des Deckels ist das metallene Stück N angelöthet, mit einem Schraubengewinde, um das Communicationsrohr des Tellers hineinzuschrauben, welches mit einem gewöhnlichen Hahne versehen wird. Der Röhre C gegenüber ist eine andere Röhre R mit einem Hahne G so gekrümmt, daſs ihr eines Ende in den Deckel zurückgeht, ihr anderes aber in das Metallstück N mündet. Die ganze Maschine wird von den drei Füſsen T T T und dem eisernen Ringe W W getragen, das Bret Q Q dient aber dazu, um eine Kohlenpfanne zum Erhitzen des im Innern enthaltenen Wassers daraufzusetzen. Beim Gebrauche wird dann der Teller mit seinem Verbindungsstücke abgeschraubt, um das hieran befindliche Leder durch die Hitze nicht zu verderben. Dann gieſst man durch das Metallstück N und die Röhre R mittelst eines Trichters etwa drei Pfund Wasser ein und verschlieſst den Hahn G, öffnet den Hahn F und stellt eine Pfanne mit glühenden Kohlen (oder bei einer kleinen Maschine eine Weingeistlampe) auf das Bret Q Q, bis zuerst etwas Wasser, dann dieses mit Dampf gemengt und endlich dichter heiſser Wasserdampf aus der Mündung b strömt, worauf man noch etwa drei bis vier Minuten wartet und dann den Hahn F schlieſst, gleichzeitig aber das Feuer unter A wegnimmt. Hiernach wird die ganze Maschine vermittelst eines Schwammes mit kaltem Wasser möglichst abgekühlt, der Recipient auf N geschraubt, der Hahn G geöffnet und es stürzt die Luft aus dem Recipienten in das Gefäſs A, wodurch allerdings ein Vacuum und durch Wiederholung dieses Verfahrens selbst eine starke Luftverdünnung erzeugt wird, aber es fällt auch leicht auf, wie langweilig und mühsam das ganze Verfahren sey. Man übersieht übrigens bald, daſs Wilke's Maschine dem Erfinder von dieser zum Vorbilde gedient habe, denn es ist klar, daſs die Röhre C mit dem Hahne F füglich entbehrt werden könnte; inzwischen kann an b eine verticale, offene, unten in Quecksilber gesenkte Glasröhre geschraubt werden, um nach dem Oeffnen des Hahns F den Grad

Fig. 99.

der Verdünnung durch diese zu messen. Verschiedene Vorschläge übrigens, welche CARRADORI beifügt, um die Maschine noch mehr für den praktischen Gebrauch geeignet zu machen, lasse ich billig weg, weil dieses völlig zu erreichen der Natur der Sache nach unmöglich ist [1].

Auf die Beobachtung FONTANA's, daſs glühende Kohlen beim Erlöschen eine groſse Menge Luft verschlucken, gründete INGENHOUSZ [2] den Vorschlag zu einer Luftpumpe. Man soll nämlich in ein luftdichtes metallenes Gefäſs, auf dessen Rand ein Deckel mit einem Rohre nebst Teller und Recipienten luftdicht gelegt werden kann, ein durchlöchertes Gefäſs mit glühenden Kohlen setzen, welche nach dem Auflegen jenes Deckels ersticken müssen, dann aber die Luft absorbiren und also ein Vacuum im Recipienten erzeugen, wenn man den dahin führenden Canal durch einen Hahn öffnet. MOROZZO wiederholt diesen Vorschlag mit der Abänderung, daſs das luftdicht schlieſsende Gefäſs mit Kohlen unter das Verbindungsstück des Tellers mit dem Recipienten geschraubt werden soll. Es bedarf jedoch keines Beweises, daſs durch dieses Mittel eben so wenig, als durch die Ausdehnung der Luft vermittelst ihrer Erhitzung in einem metallenen Gefäſse nach KASTNER's Vorschlage eine bedeutende Luftverdünnung erzeugt werden kann [3].

Prüfungsmittel der Luftpumpen.

Die Behandlung der Luftpumpen ist so einfach, daſs es kaum der Vorschriften hierüber bedarf; indeſs ist es nicht ohne Nutzen, einige nähere Kenntniſs auch von diesen Sachen zu besitzen. Vorausgesetzt, daſs eine Luftpumpe genau gearbeitet aus den Händen des Künstlers gekommen sey, wird sie nicht so bald einer Ausbesserung bedürfen, wenn man beim Experimentiren das Eindringen saurer Gasarten oder des Quecksilbers in die inneren Räume vermeidet; starke flüssige Säuren, welche das Metall oder Leder angreifen, müssen überall fern ge-

1 Gleichzeitig mit BERRETRAY schlug auch HERVIEUX vor, die Luftverdünnung durch Wasserdämpfe zu bewirken. S. Journ. de Phys. XXXV. p. 60.

2 Vermischte Schriften. Th. I. S. 433.

3 MOROZZO's Beschreibung steht im Journ. de Physique, KASTNER's in einem der ersten Bände seines Archivs.

halten werden. Reinlichkeit ist dann, wie für alle physikalische Apparate, so auch für diese ein nothwendiges Erforderniſs und es muſs daher jeder Schmutz, Wasser, Oel u. dgl. von den äuſseren Theilen mit Leinwand, um den Goldfirniſs des Messings zu schonen, abgewischt werden, insbesondere aber darf keine Pomade auf dem Teller zurückbleiben, die sonst leicht erhärtet und dann nur durch Zusatz von etwas Olivenöl sich wegnehmen läſst. Hat die Luftpumpe, wie die Cuthbertson'schen, Oel in ihren inneren Räumen, so muſs dieses zuweilen, jedoch nur etwa alle Jahre oder alle 6 Monate dadurch erneuert werden, daſs man einen oder zwei Theelöffel voll in die Oeffnung des Tellers gieſst und etliche Kolbenzüge ohne aufgesetzten Recipienten folgen läſst, damit es sich durch die Ventile verbreite und der Ueberschuſs in die Schüssel über der Lederbüchse der Kolbenstange abflieſse. Blasenventil-Luftpumpen bedürfen des Oels in der Regel nicht, gute Hahnluftpumpen auf keinen Fall, wird aber das im genannten Schüsselchen über der Lederbüchse befindliche allzudick, dann ist es gut, dieses wegzunehmen und durch frisches zu ersetzen. Das Nachsehen der Ventile und Hahnen ist unnöthig, so lange die Luftpumpe keinen Nachlaſs ihrer Verdünnungskraft zeigt, und dieses wird bei guter Construction nicht leicht stattfinden; geschieht es aber, so muſs derjenige, welcher die Maschine reinigen will, den Bau derselben genau kennen und Sorge tragen, daſs die aus einander genommenen Theile gehörig wieder zusammengefügt und namentlich alle Schrauben gleichmäſsig und genügend wieder angezogen werden. Die Hahnen und Schieberventile insbesondere erfordern groſse Vorsicht, damit sich auf dieselben beim Herausnehmen und Hinlegen kein Sand ansetze, auch darf man sie nur mit weichem Papiere, besser mit reiner Leinwand reinigen. Oel ertragen sie überall nicht; hat man aber die etwa erhärtete Pomade vermittelst etwas Olivenöles fortgeschafft, so muſs letzteres mit reiner Leinwand abgewischt und dann ein dünner Ueberzug von Pomade mit dem Finger aufgetragen werden, worauf man sie wieder an ihren Ort bringt.

Das Exantliren selbst, sofern es bloſs im Drehen der Kurbel besteht, ist zwar eine höchst leichte Operation, inzwischen erfordert es einige Fertigkeit, den Embolus ganz bis zur Berührung des Bodenstückes herabzudrücken und soweit aufzuziehen, daſs seine Oberfläche genau an den Deckel des Stiefels anschlieſse,

beides jedoch so, daſs es nicht mit einem Stoſse verbunden ist, wodurch sonst die Maschine leidet. Nur wenn man auf diese Weise exantlirt, können schädliche Räume, worin Luft zurückbleibt, vermieden werden. Wer die Fertigkeit nicht besitzt, die Kurbel auf die angegebene Weise zu bewegen, muſs sich dieselbe durch Aufmerksamkeit auf diese Operation zu verschaffen suchen. Schlieſsen alle Theile einer Luftpumpe völlig, so ist es gleichgültig, ob man schnell oder langsam exantlirt, dringt aber etwas Luft von Auſsen ein, wie bei den meisten nicht ganz vollkommenen Luftpumpen in der Regel der Fall ist, so muſs man allerdings so schnell exantliren, daſs die Menge der eindringenden Luft minder merkbar werde; auf jeden Fall darf es aber nicht so schnell geschehen, daſs die Theile der Maschine darunter leiden.

Ist der Teller der Luftpumpe von Glas, so versteht sich von selbst, daſs er nicht zerschlagen oder zersplittert werden muſs; ist er aber von Messing, so erfordert seine Behandlung groſse Vorsicht, damit nicht unter den Rändern der aufzusetzenden Campanen Sandkörnchen sich befinden, die in denselben Furchen einschneiden. Ehemals pflegte man nämlich die Campanen auf einen Ring von nassem, dann von geöltem Leder zu setzen, gegenwärtig aber erhalten sie nach dem Vorgange der Engländer unten einen aufgelegten und alsdann ganz eben geschliffenen, dickeren Rand, auf welchen man mit dem Finger eine dünne Lage Pomade streicht und sie dann auf den Teller unmittelbar setzt. Daſs die Campanen unten auf einer ganz ebenen Platte genau mattgeschliffen sind, versteht sich von selbst. Zur Pomade ist gemeines Rinds- oder Hammels-Talg zu fest, Schweinefett zu weich, auch wird dieses leicht ranzig; am besten ist weiſses Wachs, welches in mäſsig kleine Stücken aus den Tafeln der Officinen zerbrochen in einem geeigneten Gefäſse (einer Obertasse) mit gutem Olivenöl so weit übergossen wird, daſs es völlig bedeckt ist. Diese Mischung wird durch gelindes Erhitzen langsam geschmolzen, dann so lange anhaltend gerührt, bis sie hierzu zu zähe ist; das Rühren ist erforderlich, damit sich das Wachs genau mit dem Oele verbinde [1]. Mit dieser Pomade

---

1 Die Pomade, welche James Little empfiehlt G. VI. 10., aus 1 Th. gemeinem Harz, 1,5 Th. frischem Talg und 1 Th. Oel, habe ich nie versucht.

werden auch die Hahnen und Kolben überstrichen, und es liegt in der Natur der Sache, dafs man im Winter etwas mehr Oel, als im Sommer nehmen müsse, überhaupt aber läfst sich die richtige Proportion beider Theile nach einigen Versuchen leicht treffen, auch kann ohne Schwierigkeit zu der fertigen Mischung noch etwas von der einen oder der andern Substanz zugesetzt werden, wenn das richtige Verhältnifs verfehlt seyn sollte.

Zur Prüfung des Grades der Verdünnung dient entweder die Birnprobe, oder das Barometer. Die *Birnprobe* ist bereits oben[1] beschrieben und dabei gezeigt worden, wie wenig sichere Resultate damit zu erhalten sind, weil sie die Einwirkung der Dämpfe auf den Grad der Verdünnung nicht angiebt. Nairne und Cavendish haben ausführlich ihre Trüglichkeit gezeigt und durch Vergleichung mit der Barometerprobe dargethan, dafs sie wohl eine 100000fache Verdünnung anzeigte, wenn gleich nur eine 600fache der elastischen Medien vorhanden war[2]. Zu jener Zeit, als die Lehre von den Dämpfen ungleich weniger begründet war, konnte dieses ein Gegenstand weitläuftiger Untersuchung seyn, gegenwärtig aber versteht sich von selbst, dafs die ungleich schwieriger zu behandelnde Birnprobe der Barometerprobe weit nachsteht und neben dieser füglich entbehrt werden kann.

Die Anwendung des *Barometers* zur Prüfung des Grades der Verdünnung bei der Luftpumpe ist eben so sicher, als einfach. In dem leeren Raume des Barometers, der sogenannten *Torricelli'schen Leere,* ist nämlich die Abwesenheit aller Luft gegeben und es drückt daher keine Luft auf die Quecksilbersäule in der Röhre; bringt man daher eine mit Quecksilber gefüllte Glasröhre mit der durch die Luftpumpe erzeugten sogenannten *Guericke'schen* oder *Boyle'schen Leere* in Verbindung, so mufs sich aus der Vergleichung beider Barometer ergeben, wie grofs die Elasticität und somit auch die Dichtigkeit der Luft in letzterer noch sey, indem ein dieser proportionaler Druck auf die in dem mit ihr verbundenen Barometer enthaltene Quecksilbersäule stattfindet. Vorausgesetzt also, dafs keine anderweitige Bedingungen auf eins der angewandten Barometer einen Einflufs äufsern, mifst man den Unterschied der Länge beider Quecksil-

1 Bd. I. S. 977.

2 Phil. Trans. for 1777. Vergl. Hutton Dict. T. I. p. 56.

bersäulen und setzt die Verdünnung diesem umgekehrt proportional, die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft und den dieser zugehörigen Barometerstand als Einheit angenommen. Heifst daher die Länge der Quecksilbersäule im Barometer = B, in der mit der Luftpumpe verbundenen Röhre = b, die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft = D, unter dem Recipienten = d, so hat man

$$d : D = B - b : B, \text{ also } d = \frac{D \times (B - b)}{B}$$

oder, D als Einheit angenommen, $d = \frac{B - b}{B}$,

so dafs von b = 0 bis b = B die Dichtigkeit der Luft unter dem Recipienten von der Einheit bei der atmosphärischen Luft bis zum Verschwinden abnimmt. Weil aber B eine sehr bekannte Gröfse ist und für seinen mittleren Werth in den verschiedenen Ländern durch eine constante Gröfse ausgedrückt zu werden pflegt, nämlich in England durch 29 engl. Zolle, in Frankreich durch 760 Millimeter, in Deutschland durch 28 par. Zolle, so bezeichnet man die Gröfse der Verdünnung blofs durch die Angabe jenes Unterschiedes. Diesemnach heifst es also z. B., die Verdünnung sey bis 1 Millim. gebracht worden, welches so viel sagen will, als, es sey eine 760fache Verdünnung erreicht worden oder die Elasticität der unter dem Recipienten noch befindlichen elastischen Flüssigkeit habe $\frac{760 - 759}{760} = \frac{1}{760}$stel der atmosphärischen Luft betragen, und eben so bezeichnet eine halbe Linie eine 672fache Verdünnung u. s. w.

Die Barometerröhren, womit die Gröfse b gemessen wird, haben verschiedene Formen, man könnte sie aber im Allgemeinen in ganze und abgekürzte abtheilen. Die eigentlich so genannte Barometerröhre, welche schon Robert Boyle bei seinen Luftpumpen anbrachte [1], besteht aus einer mit dem Recipienten oben in Verbindung gesetzten, unten in ein Gefäfs mit Quecksilber gesenkten Glasröhre von 30 bis 32 Zoll Länge. An ihr befindet sich eine meistens hölzerne Skale, worauf unten blofs Zolle, oben aber kleinere Theile, meistens bis zu Viertel-Linien oder halben Millimetern gezeichnet sind. Bei vielen englischen Luftpumpen, namentlich von Haas und Hurter,

1 Hutton Dict. T. I. p. 55.

befindet sich im Quecksilbergefäſse ein Schwimmer mit zwei aus dem Gefäſse einige Linien hervorragenden und auf eine feine Linie der Skale zeigenden Stäbchen, um allezeit eine gleiche Höhe des Quecksilberspiegels im Gefäſse zu haben; denn wenn zufällig etwas von diesem Metalle verschüttet worden seyn sollte, so müſste so viel nachgegossen werden, bis die Spitzen der Hölzchen gerade auf die Normallinie der Skale zeigen. Ist dann der jedesmalige Barometerstand in demjenigen Maſse, welches auf dieser Skale gezeichnet ist, oder auf dieses reducirt, bekannt, so hat man B — b und somit den Grad der Verdünnung.

Weil es mühsam ist, jederzeit den Barometerstand an einem besonderen Barometer abzulesen, und obendrein durch die Ungleichheit des Niveaus im Quecksilbergefäſse eine Differenz entstehen kann, so hat man seit Smeaton und Cuthbertson angefangen, eine Torricelli'sche Röhre in das nämliche Gefäſs zu senken, in welches die Barometerröhre der Luftpumpe herabgeht, und beiden die nämliche Skale zu geben, wodurch dann die Differenz B — b unmittelbar gegeben ist. Im Allgemeinen gebührt dieser Vorrichtung der Vorzug vor allen andern. Man kann damit jeden Grad der Verdünnung messen, auch sogleich bei den ersten Kolbenzügen wahrnehmen, ob alles luftdicht schlieſst, also die Campane gegen den Teller durch die Luft gedrückt wird; tritt plötzlich Luft in die exantlirten Räume, so sinkt das Quecksilber ohne Nachtheil wieder herab, und wenn die oberen Theile der Skale hinlänglich fein sind, so läſst sich der Unterschied der Längen beider neben einander stehender Quecksilbersäulen mit groſser Schärfe ablesen. Soll jedoch die Verdünnung bis zur Differenz von 0,5 Lin. gemessen werden, dann läſst sich gegen die Genauigkeit dieses Maſses allerdings der gegründete Einwurf aufstellen, daſs beide Röhren von verschiedenem Glase sind und die eine in ihr ausgekochtes, die andere dagegen unausgekochtes Quecksilber enthält, letztere auch auſserdem im Inneren durch Dämpfe aus der Luftpumpe leicht beschmutzt werden kann und deswegen eine gröſsere *Capillardepression* zeigen muſs [1], deren Ungleichheit in verschiedenen Glasröhren gegenwärtig um so weniger bezweifelt werden kann, als die neuesten Vergleichungen von Bessel, Schumacher u. a. ergeben haben, daſs namentlich die ausge-

---

1 Vergl. Bd. I. Abth. 2. S. 907.

kochten Barometer aus PISTOR's Werkstatt sogar Capillar-Attraction zeigen [1]. Beim Gebrauche der Luftpumpe wird sich indefs bald zeigen, bis zu welchem Grade der Genauigkeit sich die Verdünnung mittelst dieser Vorrichtung messen läfst, die des gerügten Mangels ungeachtet keineswegs verwerflich genannt werden kann.

JOHN SMEATON wählte statt der langen Barometerröhre ein abgekürztes Heberbarometer IG, dessen offener Schenkel durch eine vertical unter dem Teller befindliche messingne Fassung mit dem Recipienten in Verbindung stand, der kürzere, mit Quecksilber gefüllte, dagegen zur verticalen Richtung wieder in die Höhe gebogen war. Ein solches *abgekürztes Barometer* hat den Vortheil, beim Transportiren der Maschine nicht so leicht und stark erschüttert zu werden, es macht die Torricelli'sche Röhre oder das Controle-Barometer entbehrlich, man läuft nicht Gefahr, Quecksilber aus dem Gefäfse zu verschütten, und, was die Hauptsache ist, beide Schenkel, der eine für die Torricelli'sche und der andere für die Guericke'sche Leere, sind von gleichem Glase und sonstiger gleicher Beschaffenheit; wenn also der offene Schenkel frei von Schmutz, feuchter Luft und Dämpfen gehalten wird, so mufs ein solches Barometer die Differenz B — b ungleich schärfer angeben, als die beiden langen Barometerröhren. Dafs nämlich der mit Quecksilber gefüllte Schenkel kaum die Hälfte oder nur etwa den vierten Theil der Länge eines wirklichen Barometers hat, thut der Genauigkeit dieser Messung nicht den mindesten Abbruch, weil der Unterschied der Quecksilbersäulen in beiden Schenkeln diese gesuchte Gröfse bei allen Verdünnungen leicht anzugeben vermag, welche über die Länge der Quecksilbersäule im kürzeren Schenkel hinausgehen. Betrüge diese also nur 3,4 Zolle, so könnten alle Verdünnungen damit gemessen werden, welche über eine 9fache hinausgehen, wäre aber diese Länge = 14 Zolle, so würde schon eine Verdünnung bis zur Hälfte der atmosphärischen Dichtigkeit dadurch angezeigt werden. Alle diese Arten von abgekürzten Barometern haben nur einen Mangel, nämlich sie unterliegen der Gefahr zerschellt zu werden, wenn die Luft schnell unter den Recipienten tritt und das Quecksilber heftig gegen die Wölbung des verschlossenen Schenkels stöfst. In allen diesen

Fig. 65.

1 SCHUMACHER Astron. Nachrichten. Jahrg. 1830.

Fällen, namentlich bei Sprengungsversuchen durch den Luftdruck, müssen daher solche Barometer weggenommen oder abgeschlossen werden.

Nur in etwas abgeänderter Gestalt hat CUTHBERTSON dieses Barometer aufgenommen, weswegen es das *Cuthbertson'sche Heberbarometer* heifst. Er setzte es nämlich nicht herabhängend unter den Teller der Luftpumpe, sondern aufrecht stehend auf ein mit dem Recipienten communicirendes Verbindungsstück. Hierdurch erfordert dasselbe noch einen in die Höhe gehenden Schenkel und wird also dreischenklig, ist aber dem Wesen nach, eben wie rücksichtlich seiner Leistungen und der Art, den Grad der Verdünnung damit zu messen, den vorigen ganz gleich, hat aber in sofern einen Vorzug, als in das Meſsrohr des Guericke'schen Vacuums bei weitem weniger leicht Schmutz und Feuchtigkeit gelangen kann. Fig. 70.

Es liegt sehr nahe bei der Sache, ein ähnliches Barometer, als das durch SMEATON angewandte, nicht für beständig mit der Luftpumpe zu verbinden, sondern unter jeden beliebigen Recipienten zu stellen, wenn man während des Exantlirens oder auch auf längere Zeit den Grad der Luftverdünnung in irgend einem Gefäſse zu bestimmen wünscht. Solche Heberbarometer, mit nahe zusammengebogenen Schenkeln, deren einer mit Quecksilber gefüllt und ausgekocht, der andere offen und leer ist, können willkürlich lang und weit seyn, an einer feststehenden oder herabhängenden Skale befestigt und überhaupt den vorliegenden Bedingungen gemäſs eingerichtet werden. Zuweilen kommt man in den Fall, sie klein und aus engen Röhren verfertigen zu müssen, wie dieses namentlich bei meinen Versuchen über die Dichtigkeit der Dämpfe der Fall war. Es ist dann schwer, ihnen die erforderliche Genauigkeit zu geben, indeſs habe ich es sehr zweckmäſsig gefunden, die engen und kurzen Röhrchen vor dem Biegen über einer Weingeistlampe auszukochen, dann etliche Male aufzustoſsen, damit das Quecksilber losläſst, und sie hiernach an der Lampe umzubiegen, worauf man zuletzt noch einen Theil Quecksilber hineinbringen kann, bei dem das Auskochen nicht mehr erforderlich ist oder nicht gerade sehr sorgfältig und stark geschehen muſs.

Kaum ist es der Mühe werth, noch das abgekürzte Flaschenbarometer zu erwähnen, welches MAIRAN für diesen Zweck

in Vorschlag gebracht und du Fay beschrieben hat[1]. Die Gestalt desselben ist genau die der gröſseren Barometer dieser Art, seine Länge aber beträgt nur etwa 3 bis 6 Zolle, die Flasche (oder das Gefäſs) ist in diesem Verhältnisse kleiner und die Skale wird auf einem runden Fuſsgestelle befestigt, damit sie stets die verticale Richtung behalte, wenn man den Apparat unter die Campanen auf den Teller der Luftpumpe stellt. Man findet solche noch unter den alten Apparaten der physikalischen Cabinette, macht jedoch keinen Gebrauch davon, weil die breite Quecksilberfläche im Gefäſse eine genaue Beobachtung des Barometerstandes unmöglich macht.

Theoretische Bestimmung der Wirksamkeit einer gegebenen Luftpumpe.

Es ist zwar sehr leicht, den Grad der Verdünnung zu berechnen, welcher durch eine Luftpumpe vermittelst einer bestimmten Anzahl Kolbenzüge erzeugt seyn müſste, allein man macht hiervon vielleicht niemals Gebrauch, weil die für jeden einzelnen Fall hierbei zum Grunde liegenden Gröſsen meistens nicht genau bekannt sind und die ganze Mühe einer solchen Berechnung aus oben bereits angegebenen Gründen ohnehin vergeblich seyn würde. Die Operation des Exantlirens besteht darin, daſs der Embolus im Stiefel bewegt und hierdurch der von ihm durchlaufene Raum luftleer gemacht wird, damit die unter dem Recipienten und in den sämmtlichen mit ihm verbundenen Canälen enthaltene Luft sich in denselben ergieſse. Hierbei ist zwar der Inhalt des Stiefels leicht aufzufinden und meistens genau bekannt, selten aber ist dieses der Fall bei den exantlirten Campanen und vermuthlich niemals bei den Zuleitungscanälen, dem offenen Stiefel der Barometer u. s. w. Möglich wäre es allerdings, diese Gröſsen gleichfalls aufzufinden, allein man giebt sich des geringen oder gänzlich fehlenden Nutzens wegen nie die Mühe, dieses nur einmal zu versuchen. Angenommen aber, der Inhalt aller dieser Räume wäre bekannt und hieſse $= V$, der kubische Inhalt des Stiefels aber nach Abzug des durch den Embolus eingenommenen Theils $= v$, so wird letzterer durch jeden Kolbenzug luftleer, die in V enthaltene

1 Mém. de l'Acad. 1734. p. 486.

Luft breitet sich daher in diesen gleichfalls aus, nimmt also den Raum $V + v$ ein, und ihre Dichtigkeit, früher $= 1$ gesetzt, muſs daher nach dem Boyle'schen (oder Mariotte'schen) Gesetze[1] im Verhältnisse von $V : V + v$ abnehmen, mithin $= \frac{V}{V + v}$ seyn. Beim zweiten Kolbenzuge wird die bereits verdünnte Luft durch Wegnahme des in v enthaltenen Antheils sich abermals in den Raum $V + v$ ausbreiten, mithin ihre Dichtigkeit $= \left(\frac{V}{V+v}\right)^2$ und so fort beim nten Kolbenzuge $= \left(\frac{V}{V+v}\right)^n$ seyn, wobei die Zahlen 1, 2, 3 .... n die Menge der Kolbenzüge bezeichnen, bei denen eine Wegnahme der Luft statt finden müſste, und welche also bei doppelt wirkenden Luftpumpen für eine gleiche Anzahl von Bewegungen doppelt ist.

Aus dieser Formel folgt zuerst der Unterschied der *Torricelli'schen* und der *Boyle'schen Leere*. In jener wird nämlich gar keine Luft anwesend angenommen, folglich ihre Dichtigkeit $= 0$, in dieser dagegen kann nach n Kolbenzügen, wie groſs man auch diese Zahl annehmen mag, die Gröſse $\left(\frac{V}{V+v}\right)^n$ nie $= 0$ werden, es sey denn, daſs man n unendlich groſs annähme, was aber physisch unmöglich ist. Zweitens aber giebt diese Formel die Verdünnung ungleich gröſser an, als sie durch die bis jetzt verfertigten besten Luftpumpen erzeugt werden kann. Wäre nämlich der Inhalt des Recipienten und der Röhren gerade so groſs, als derjenige des Stiefels, welcher durch das Aufziehen des Kolbens luftleer wird, so müſste nach der Formel für $V = v$ und $n = 10$, also bei 10 Kolbenzügen, die Dichtigkeit der verdünnten Luft $= \frac{1}{4096}$ seyn, die der atmosphärischen $= 1$ gesetzt; betrüge aber v nur den fünften Theil von V, so gäbe dennoch für 50 Kolbenzüge $\left(\frac{1}{1,2}\right)^{50}$ eine 9400fache Verdünnung, welche beide niemals erreicht werden.

Die Aufsuchung der angegebenen Formel hat vielleicht bloſs in dieser letzteren Beziehung ihren vorzüglichsten Nutzen, näm-

1 Vergl. Bd. IV. S. 1026.

lich in so fern daraus folgt, dafs die Luftpumpen in der Wirklichkeit dasjenige nicht leisten, was sie der Theorie nach leisten sollten. Es ist daher kaum der Mühe werth, zu zeigen, welche anderweitige Aufgaben aus derselben beantwortet werden können, wie dieses namentlich durch Hutton und andere zu geschehen pflegt. Zuerst läfst sich nämlich finden, wie viele Kolbenzüge geschehen müssen, wenn man bei gegebenem Verhältnisse des Stiefels zum Recipienten eine bestimmte Verdünnung erzeugen will. Heifst diesemnach die Dichtigkeit der verdünnten Luft $= \Delta$, die der atmosphärischen als Einheit angenommen, wonach also $\Delta = \frac{V^n}{(V+v)^n}$ ist, so folgt aus

$$\log. \Delta = n \, . \left(\log. V - \log. (V + v)\right)$$

$$n = \frac{\log. \Delta}{\log. V - \log. (V+v)},$$

worin die Zahl n die Menge der Kolbenzüge bezeichnet, welche erforderlich sind, um eine gegebene Verdünnung $= \Delta$ zu erzeugen. Eben so einfach läfst sich das Verhältnifs des Rauminhalts zwischen dem Stiefel und dem Recipienten nebst den Zuleitungsröhren u. s. w. auffinden, wenn durch eine gegebene Menge Kolbenzüge ein Vacuum von bestimmter Dichtigkeit erhalten werden soll. Aus

$$\Delta = \frac{V^n}{(V+v)^n} \text{ folgt nämlich } \sqrt[n]{\Delta} = \frac{V}{V+v}$$

$$\text{und hieraus } v = \frac{V\,(1 - \sqrt[n]{\Delta})}{\sqrt[n]{\Delta}} \text{ oder } = V\left(\frac{1}{\sqrt[n]{\Delta}} - 1\right),$$

d. h. der Rauminhalt des Stiefels steht im geraden Verhältnisse der Gröfse des Recipienten und im umgekehrten derjenigen Wurzel aus der zu erreichenden Verdünnung, welche durch die Zahl der Kolbenzüge gegeben ist. Uebrigens wird nicht leicht eine praktische Anwendung von diesen Formeln gemacht werden.

M.

Luftthermometer.

Elektrisches Luftthermometer; *Electric air thermometer.*

Die ersten zum Messen der Wärme bestimmten Thermo-

meter waren Luftthermometer[1], wovon jedoch hier die Rede nicht seyn kann. Das durch Kinnersley[2] angegebene *elektrische Luftthermometer* ist von seinem Erfinder in der Absicht construirt worden, um die durch Elektricität erzeugte Wärme zu messen, verdient also seinen Namen in der That und gehört unter die keineswegs verächtlichen Apparate, obgleich man dasselbe selten oder nie mehr in den physikalischen Cabinetten findet.

Eine 10 Zolle lange und 2 Zolle weite Glasröhre AB ist an beiden Enden in messingne Kappen gefafst, durch welche die am einen Ende zu Haken umgebogenen, am andern mit Kugeln G, I versehenen messingnen Drähte FG, EI so gesteckt sind, dafs der untere feststeht, der obere dagegen luftdicht auf- und abwärts bewegt werden kann. Im unteren Theile der Röhre befindet sich etwas Wasser, in welches die an beiden Enden offene Röhre H hinabreicht. Die so vorgerichtete Röhre ist in verticaler Richtung am Stative CD befestigt. Kinnersley setzte den Apparat auf ein isolirendes Gestell[3], umgab die Glasröhre mit vielen Windungen eines am ersten Conductor befestigten Drahtes und elektrisirte sie, um zu erforschen, ob die Elektricität an sich warm sey und durch ihre Wärme die eingeschlossene Luft ausdehne, allein er erhielt hierdurch gar keine Wirkung, welche auch dann gänzlich ausblieb, wenn er beide Kugeln zur Berührung brachte und den einfachen elektrischen Strom oder Flaschen-Elektricität durch die Drähte leitete. Hierdurch glaubte er sich zu dem Schlusse berechtigt, dafs die Elektricität weder an sich warm sey, noch auch Wärme aus solchen Körpern entwickle, welche sie vollständig leiten. Wenn dagegen die beiden Kugeln I, G um einen gröfseren oder kleineren Abstand von einander entfernt werden und man einen Flaschenfunken zwischen ihnen überschlagen läfst, so steigt das Wasser im Röhrchen H plötzlich zu einer Höhe, welche mit

Fig. 100.

---

1 Vergl. *Thermometer.*

2 Phil. Trans. LIII. P. I. p. 88. Daraus in Priestley Gesch. d. Elektr. übers. von Krünitz S. 137. und in T. Cavallo's vollständiger Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von d. El. 4te Aufl. Th. I. S. 229.

3 Die mitgetheilte Figur ist nach Cavallo's Abbildung. Ursprünglich stand die Röhre auf einer durch einen Dreifufs getragenen Glassäule und von dem durch die untere Fassung seitwärts hervorragenden Drahte ging eine Kette zur negativen Belegung einer Flasche.

dem Abstande der Kugeln von einander und der Stärke des Batteriefunkens zunimmt. Kinnersley bemerkte hierbei, dafs im Augenblicke der Explosion das Wasser im Röhrchen H bis an das Ende desselben hinaufgetrieben wurde, aber auch sogleich wieder herabsank, jedoch nicht bis zu seinem ursprünglichen Stande, den es erst nach einiger Zeit allmälig wieder erreichte. Die erstere dieser Wirkungen konnte nach seiner Ansicht keineswegs durch die Ausdehnung der Luft in Folge der erzeugten Wärme hervorgebracht werden, dagegen leitete er die nachherige, nur allmälig abnehmende Erhöhung aus dieser Ursache ab, indem das Wasser erst dann seinen anfänglichen Stand wieder annahm, wenn die ausgedehnte Luft ihre höhere Temperatur verloren hatte. Gehler [1] hält jedoch diesen Schlufs nicht für richtig, weil der elektrische Funke die Luft zersetzen und elastische Flüssigkeiten erzeugen könnte, welche anfangs das Volumen vermehrten und später vom Wasser absorbirt würden; allein in diesem Falle müfste das Wasser im Röhrchen unter sein anfängliches Niveau herabsinken, was bei den Versuchen nie erwähnt wird. Aufserdem können nicht füglich aus atmosphärischer Luft elastische Flüssigkeiten erzeugt werden, welche das anfängliche Volumen zu vermehren vermöchten und später durch Wasser absorbirt würden, denn durch die allerdings anderweitig beobachtete Verbindung des Stickstoffgases mit dem Sauerstoffgase der atmosphärischen Luft durch elektrische Funken müfste überall das Volumen vermindert werden.

Die mit diesem Apparate anzustellenden Versuche gehören daher keineswegs unter die unwichtigen. Ist dasselbe hinlänglich fein construirt, so läfst sich allerdings schliefsen, dafs die Elektricität in vollkommenen Leitern keine Wärme erzeugt, wenn bei der Berührung der Kugeln nach wiederholten Flaschenschlägen kein Aufsteigen des Wassers im Röhrchen H erfolgt. Die plötzliche starke Ausdehnung der Luft durch den elektrischen Funken, wenn er von der einen der von einander abstehenden Kugeln zur andern überspringt, ist eine Folge der Platzung, welche nicht selten auch die Fugen der Blitzableiter zerreifst. Indem aber die Elektricität die Nichtleiter bei ihrem Durchgange durch dieselben durchbricht, so kann man auch annehmen, dafs sie die Luft trennt, wodurch zugleich der Knall

1 Wörterbuch. Alte Ausg. III. S. 88.

des Funkens erzeugt wird, und wenn man die Bahn desselben als einen Cylinder betrachtete, so könnte man aus der Höhe des im Rohre H aufsteigenden Wassers die Dicke von diesem in genähertem Maſse berechnen. Daſs aber die Luft gleichzeitig erwärmt werde, folgt schon aus der Analogie anderer Erscheinungen, indem die Elektricität überall Wärme erzeugt, wo sie Widerstand findet, und diese auch auſserdem aus der Luft durch die eben so plötzliche als gewaltsame Compression bei der Trennung durch den elektrischen Funken ausgeschieden werden muſs. *M.*

Verbesserungen

zum Artikel Krystall.

S. 1034 Z. 16 statt mufs lese man müssen.
— — — 17 st. Krystallgestalt l. Krystallgestalten.
— 1035 — 12 und 11 v. u. statt so ist auch $a \,|{=}|\, c$ und $b \,|{=}|\, d$ und $a \,|{=}|\, d$ und $b \,|{=}|\, c$ lese man so ist auch a ≌ c und b ≌ d und $a \,|{=}|\, d$.
— 1036 nach Zeile 12

statt	lese man
$x \,|{=}|\, y$	$x \,|{=}|\, y$
$y' \,|{=}|\, y$	$y' \,|{=}|\, y$
	x ≌ y
Ebenso $y \,|{=}|\, x$	Ebenso $y \,|{=}|\, x$
$x' \,|{=}|\, x$	$x' \,|{=}|\, x$
y ≌ x′	y ≌ x′
folglich u. s. w.	und endlich u. s. w.

— 1038 Z. 15 v. u. statt AB′E lese man ABED.
— 1042 — 7 v. u. statt 229 ist 228 zu lesen.
— 1043 setze man das Notenzeichen [1] nach dem Worte Bilder in Zeile 17 v. u. und tilge Z. 11 — 4 v. u.
— 1044 Z. 14 st. pgliedrigen l. 1fach pgliedrigen.
— — — 16 v. u. statt ebenbildlich lese man gegenbildlich.
— 1045 — 21 st. sagt lese man sage.
— 1046 — 2 statt 2×2seitig wie a setze 2×seitig sind, wie a.
— 1052 — 8 st. x, wohl aber p lese man p, wohl aber x.
— 1053 — 13 durchstreiche die beiden u. s. w.
— — — 7 v. u. st. unendlich viele lese man neben unendlich vielen.
— — — 1 v. u. st. Flügelebene lese man Flügelebenen.
— 1055 — 8 statt 2fach lese man 1fach.
— — — 9 statt 2fach lese man 1fach.
— 1058 — 4 statt gerenstellig oder 2endig lese man gerenstellig gleichendig, oder gerenstellig 2endig.
— 1061 — 8 v. u. statt vier ungleichschenkligen lese man vier ungleichen ungleichschenkligen.
— 1064 — 8 u. 9 statt 2fach 2gliedrige lese man 2fach 1gliedrige.
— 1065 — 5 Fig. 238 ist zu den 2fach 2gliedrigen gehörig.
— 1067 — 5 statt den p lese man den 2p.
— 1071 — 15 u. 14 v. u. statt 2endig 1fach 1gliedrig setze 2endig, 2fach, oder 1fach 1gliedrig.
— 1080 — 19 v. u. statt Bewegungsflächen und Kanten lese man Begrenzungsflächen und die Kanten.
— 1086 — 17 statt a) lese man a.
— 1089 — 1 statt E lese man *e*.
— 1095 — 1 v. u. statt monoedricum lese man monoedrum.
— 1097 — 1 statt pgliedrigen lese man 1fach pgliedrigen.
— 1100 — 7 v. u. statt be=ea lese man be=ed.

S. 1101 Z. 4 v. u. statt z. B. ist lese man wie z. B.
— 1104 — 11 statt 2fach1 lese man 1fach2.
— — — 14 statt Strahlen lese man Querstrahlen.
— — — 3 v. u. statt t,r,P lese man t,l,P.
— — — 2 v. u. statt M,S lese man M,s.
— — — — und statt o,s; o,u u. s. w. setze man o,s; oder o,z, u. s. w.
— 1105 — 2 statt pgliedrigen Hauptaxen setze pgliedriger Hauptaxe.
— — — 11 statt da setze die.
— 1106 — 3 statt α setze a.
— — — 7 statt Nebenstrahlen setze Strebestrahlen.
— 1107 — 12 statt einem setze keinem.
— 1108 — 22 v. u. statt eine Art setze einer Art.
— 1109 — 13 statt eine setze einem.
— — — 21 statt $\frac{360}{p}$ setze $\frac{360}{2p}$.
— 1112 — 9 v. u. statt möglicher Weise gleich seyn können lese man gleich sind.
— 1118 — 2 statt 3- oder 4 lese man 4- oder 5.
— 1120 ist unten in den Formeln mehrmals statt des Buchstaben k der Ausdruck $\sqrt{2}$ zu setzen.
— 1122 Z. 9 v. u. statt ebenbildliche l. ebenbildlich.
— 1124 — 20 statt ihm lese man ihr.
— — — 3 v. u. statt dec und deg lese man dce und dcg.
— 1125 — 2 verweise man auf Fig. 282.
— — — 4 schalte man nach dem Worte Dreiecken den Satz ein: Vergleicht man nun die Figuren 278 bis 282 und berücksichtigt man das unter 24 Gesagte, so ergeben sich folgende Sätze.
— 1125 — 1 v. u. durchstreiche man den Satz: Jeder andere Strahl ist 1gliedrig.
— 1126 — 1 statt Die setze man 27) Die.
— — — 10 statt ed setze cd.
— 1127 — 17 statt $\frac{1}{2}(3\sqrt{5})$ setze $\frac{1}{2}(3-\sqrt{5})$.
— 1128 — 1 statt 27) Ebenso setze man Daher.
— 1135 soll die Note sich schliefsen mit dem Worte vertauschbaren und die nun folgende Zahlenzusammenstellung im Texte nach Zeile 2 der nächsten Seite in folgender Art stehen.
— 1136 ist nach Zeile 2 einzuschalten:

2 . 1 . 1 . 24
= 2 . 2 . 1 . 12
= 2 . 2 . 2 . 6
= 2 . 2 . 3 . 4
= 2 . 2 . 4 . 3

= 48 = Anzahl der 1fach 1gliedrigen Strahlen einer Art.

(unter den Spalten:) Anzahl der gleichen Enden einer solchen Axe. — Art der Vielgliedrigkeit derselben. — Anzahl der Axen einer Art.

— 1140 Z. 12 v. u. statt einen der lese man einander.

S. 1146 Z. 14 statt gleiche lese man gleich den.
— 1147 — 18 statt 2fach 2gliedrige lese man 2fach 3gliedrige.
— 1148 — 12 statt Trigonal, Ikositetraeder, setze man Trigonal-Ikositetraeder.
— 1149 — 6 ist nach dem Worte Verhältnifs einzuschalten des 2gliedrigen Strahles zu dem 2fach 1gliedrigen Strahle, der zwischen zweien nachbarlichen 2gliedrigen in der Mitte liegt, unveränderlich $= \sqrt{3:2}$, aber das Verhältnifs und nach dem Worte 3gliedrigen das Wörtchen ist, zu setzen.
— — — 11 v. u. statt und statt dessen der 24wandige setze man sondern als Verbindung zweier 24wandiger.
— 1151 — 5 v. u. statt 2- und 2einkantige setze man 2- und 2×1kantige.
— 1152 — 20 statt 70° 21′ 44″ setze 70° 31′ 44″.
— 1153 — 13 statt Lanzenflächner lese man 12-Lanzenflächner.
— — — 15 statt der andern setze des andern.
— — — 15 v. u. statt die lese man und die.
— 1155 — 1 statt 3gliedrigen setze 3gliedrig.
— — — 18 statt das zu dem, welches lese man der zu dem, welcher.
— 1156 — 14 lese man Triacontaedrum rhombeum.
— 1157 — 14 statt 3gliedrige lese man 3gliedrig.
— 1161 — 1 ist Figur 310 anzuführen.
— 1164 — 13 v. u. muss zwischen $\frac{1}{q} - y$ und $\frac{1}{q} + z$ die Grösse $\frac{1}{q}$ eingeschaltet werden.
— — — 8 v. u. statt R mufs $\mathfrak{R}$ gesetzt werden.
— 1165 — 16 statt $-\frac{1}{\infty}, -1$ setze man $-\frac{1}{\infty}$ R, — 1.
— 1168 — 21 v. u. nach 1fach 1gliedriger ist zu setzen Strahl.
— 1171 — 7 bis 21 Die mit arabischen Zahlzeichen dargestellte Permutationenreihe ist nicht in den Text gehörig, sondern als Fortsezzung der dritten Note von Seite 1170 anzusehen.
— 1172 — 16 v. u. statt a‴ setze man a″.
— 1173 — 3 v. u. ist auf Fig. 309 zu verweisen.
— 1176 — 10 v. u. ist statt des Noten-Zeichens 2 das Noten-Zeichen 3 zu setzen.
— 1178 — 11 fehlen die an der Seite anzubringenden Buchstaben-Zusammenstellungen:

$$\frac{\alpha\ |\quad}{\alpha'\ |\quad} \quad \frac{\quad|\ \beta}{\quad|\ \beta'} \quad \frac{\gamma\ |\quad}{\gamma'\ |\quad} \quad \frac{\quad|\ \delta}{\quad|\ \delta'}.$$

— 1185 — 12 v. u. statt δ ist zu setzen (δ).
— — — 4 v. u. statt bestimmen setze man bestimmt.
— 1187 — 7 v. u. statt Strahl in setze man Strahl ξ in.
— 1192 — 14 v. u. ist nach 2ten einzuschalten $\pm x \mid \mp y$.
— 1193 — 22 u. 23 v. o. lese man: Dasselbe gilt für $-x \mid -\frac{2}{3}$ und $+x \mid -\frac{2}{3}$. Bei dieser Bedingung u. s. w.
— — — 8 u. 7 v. u. ist statt zu setzen

statt	zu setzen
$+x \mid -y$	$+x \mid -x$
$-x \mid -y$	$-x \mid -x$
$-x \mid +y$	$-x \mid +x$.

— 1197 — 3 v. u. statt Rwr setze man R und r.
— 1198 — 8 statt sdg setze man sdg $=$.

S. 1202 Z. 4 statt $\underset{1}{R}, \underset{2}{R}, \underset{3}{R}$ setze man R_1, R_2, R_3.

— — — 5 statt $\underset{1}{r}, \underset{2}{r}, \underset{3}{r}$ setze man r_1, r_2, r_3.

— — — 6 v. u. statt $\underset{1}{r}, \underset{2}{r}, \underset{3}{r}$ ... und $\underset{1}{R}, \underset{2}{R}, \underset{3}{R}$ ... setze man ${}_1r, {}_2r, {}_3r$ ... und ${}_1R, {}_2R, {}_3R$ ....

— 1203 — 13 v. u. nach $ce = \mathfrak{y}$ ist beizufügen gesetzt.

— 1204 — 9 statt $\underset{2}{r} : \underset{1}{r}$ setze man ${}_2r : {}_1r$.

— 1205 — 18 statt $\left(\frac{\mathfrak{y}}{2\mathfrak{y} - \mathfrak{x}}\right)$ setze $\left(\frac{\mathfrak{y}}{2(\mathfrak{y} - \mathfrak{x})}\right)$.

— 1214 — 10 statt 2×4 setze $2 \times p$.

— — — 11 statt abhängig setze unabhängig.

— 1218 — 5 v. u. statt $-\frac{x_1 - 3}{4}$ setze man $\frac{-x_1 - 3}{4}$.

— 1232 — 1 statt ihnen sich nach setze man ihnen, nach.

— 1234 — 6 statt σr setze $\sigma\Theta$ und statt $\sigma r\Sigma$ setze $\sigma\Theta\Sigma$.

— 1235 — 5 v. u. ist Fig. 324 anzuführen.

— 1236 — 22 statt Strahl möglich setze Strahl ϱ möglich.

— 1241 — 3 statt σr setze or.

— — — 13 v. u. statt la setze $l\alpha$.

— 1244 — 16 v. u. statt ci setze oi und statt fb setze fdbe.

— — — 13 bis 10 v. u. mufs der Satz: weil jede .... parallel liegt abgeändert werden in den Satz: die, weil jede derselben zweien der Strahlen a, b, d (welche als zu einem gerengesetzlichen Strahlenvereine gehörig betrachtet werden können) parallel liegt, einerlei gerengesetzlichem Flächenvereine angehören.

— 1245 — 8 v. u. statt $\varrho\delta$ setze $\varrho'\delta$.

— — — 6 v. u. statt $\beta w \delta$ setze β und δ.

— 1248 — 16 statt ag setze man Ag.

— 1250 — 14 statt ahwlxs setze man ahwbxs.

— 1251 — 15 statt $[k\alpha, y\beta, z\delta]$ setze man $[x\alpha, y\beta, z\delta]$.

— — — 17 statt 011 setze 010.

— 1252 ist auf der ganzen Seite der 9mal vorkommende Buchstabe ϱ in ζ zu verwandeln.

— 1253 ist in der mit 4) bezeichneten Gleichung statt $p'x$ zu setzen $p''x$.

— 1254 ist oben in den Gleichungen der 2mal vorhandene Buchstabe ϱ zu vertauschen mit ζ.

— — Z. 11 statt angenommen setze man an, genommen.

— 1255 — 19 statt $[y\beta, z\delta]$ setze $[y\beta, - z\delta]$.

— 1256 — 4 v. u. statt Neigung ϱ setze Neigung ζ.

— — — 3 u. 2 v. u. statt Tang. ϱ setze Tang. ζ.

— 1257 — 13 statt ϱ setze ζ.

— 1265 — 3 v. u. statt $\underset{1}{\alpha}o = \frac{1}{2}\underset{1}{\alpha}r$ setze man $\alpha\underset{1}{o} = \frac{1}{2}\alpha\underset{1}{r}$.

— 1266 — 3 v. u. nach Gestalt setze man (Fig. 239) und durchstreiche in dieser Zeile nach dem Worte früher den Beisatz (in Fig. 239).

— 1267 — 6 v. u. statt k setze $\sqrt{2}$.

— 1268 — 3 v. u. statt $\underset{2}{ag}$ setze $\underset{2}{a\gamma}$.

— — — 2 v. u. statt αw setze αu.

— 1269 — 6 u. 7 soll die Anführung von Fig. 243 nach dem Worte Gestalt stehen.

— — — 8 statt Beziehungsarten setze Bezeichnungsarten.

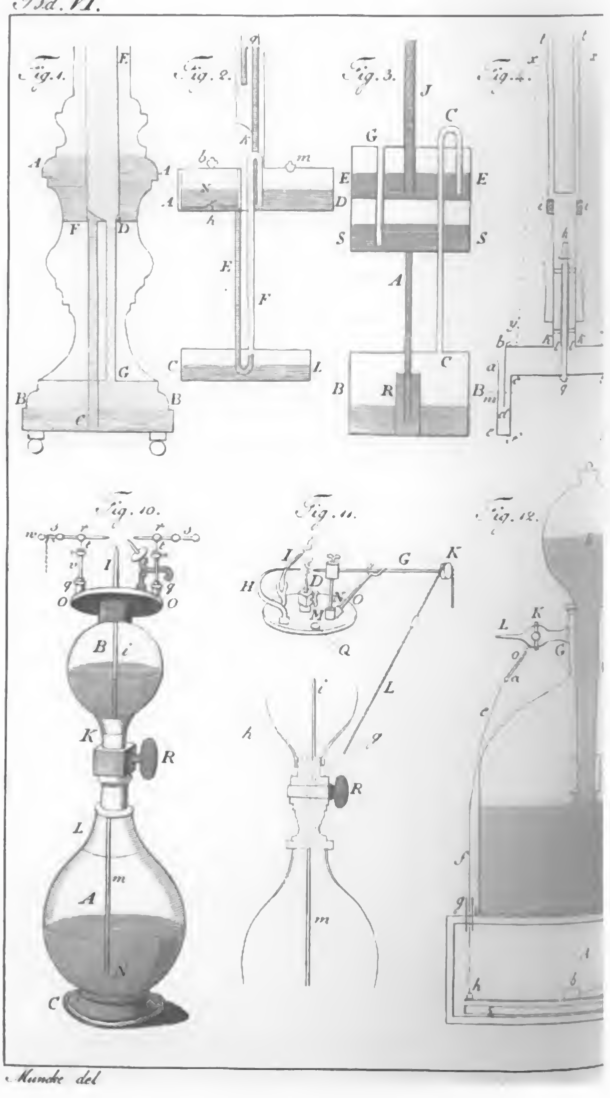
— 1271 — 3 v. u. statt $\frac{4}{5}\underset{1}{p}\underset{1}{l}$ setze $\frac{4}{5}\underset{1}{p}\underset{1}{\ell}$.

S. 1274 Z. 4 v. u. in der Tabelle in der letzten Columne statt $\frac{1}{4}:\frac{1}{3}:\frac{1}{2}=2:3:3$ setze $\frac{1}{2}:\frac{1}{4}:\frac{1}{4}=2:2:3$.
— 1285 — 10 statt 2fach 1gliedrig setze 1gliedrig.
— 1291 — 19 u. 18 v. u. statt Puncte .... Gestalt setze Puncte, parallel sämmtlichen Flächen des Krystalls, Ebenen sich denkt, um an der von diesen Ebenen begrenzten Gestalt.
— 1295 — 15 statt messen. Allen setze messen, *allen.*
— 1298 — 4 statt flachen setze Flächen.
— — — 14 v. u. statt unregelmäſsiges Werden setze man Unregelmäſsiger-Werden.
— 1306 — 9 statt *e* setze c.
— 1319 — 5 v. u. statt Krystallfläche setze Krystallflächen.
— 1321 — 22 durchstreiche die Worte rechne und.
— 1322 — 4 u. 3 v. u. statt Gestalt setze Gestalten.
— 1323 — 8 statt (±1a, ±1R, +1r) setze man (±1a, ±1R, +1r).
— 1326 — 10 ist das Zeichen (±) zu tilgen.
— 1327 — 14 v. u. statt diagonale Verhältniſs setze man Diagonalen-Verhältniſs.
— 1334 — 2 nach der Tabelle soll statt Hausmann der Name Haidinger stehen und die nächste Zeile mit einem neuen Absatze beginnen, welcher von Hausmann handelt.
— 1337 — 18 statt $r^a(R)r$ setze $r(\overset{a}{R})r$.
— — — 19 statt $r^a r$ setze $r\overset{a}{r}$.
— 1337 — 20 statt $a^a a$ setze man $a\overset{a}{a}$.

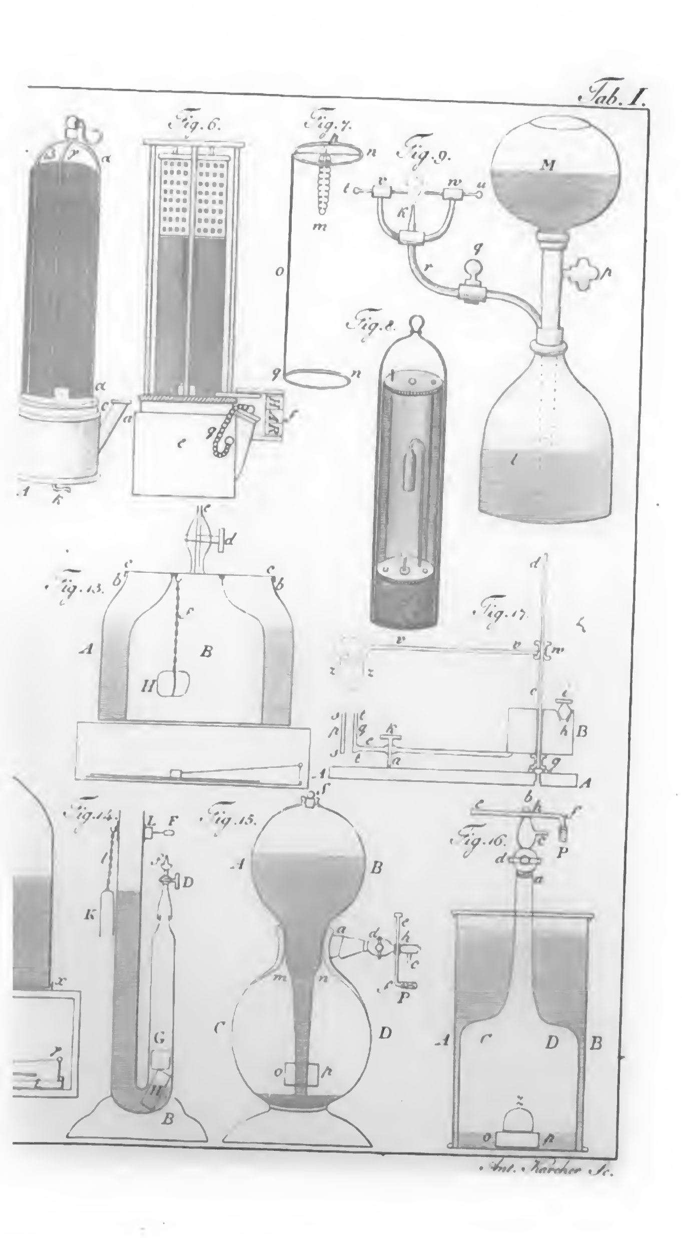
Auf den Kupfertafeln sind folgende Ergänzungen und Berichtigungen anzubringen.

Tab.	Fig.	
XXIV.	274	ist die punctirte Linie c d darzustellen und der Durchschnittspunct von b d und a f mit g zu bezeichnen.
XXVII.	323	ist der Durchschnittspunct der Linien $b^x \Sigma$ und $d^{\pi} \sigma$ mit Θ zu bezeichnen.
XXVIII.	329	die Linie $c\gamma'''$ zu ziehen.
XXIX.	339	bezeichne man den Durchschnittspunct von R A und $\overset{1}{A}\overset{3}{A}$ mit l und den Punct, in welchem die $\overset{1}{A}\overset{2}{A}$ von der durch $\overset{1}{p}$ gehenden, zu ihr senkrechten $\overset{1}{A}\overset{3}{A}$ Linie getroffen wird, mit $\overset{1}{\mathfrak{l}}$.

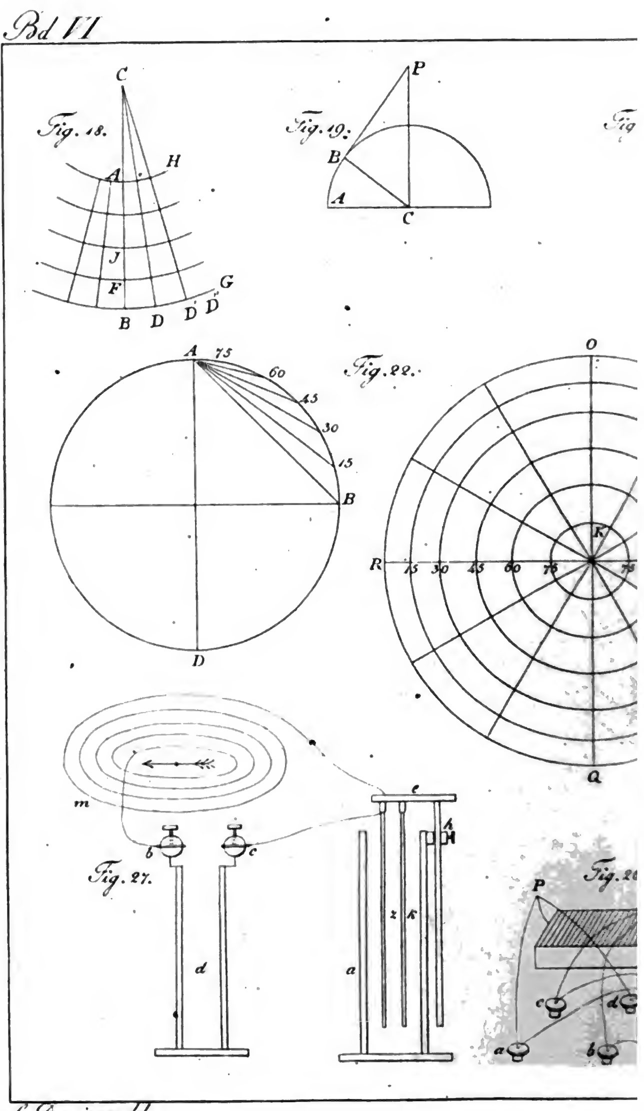
Bd. VI.



Muncke del

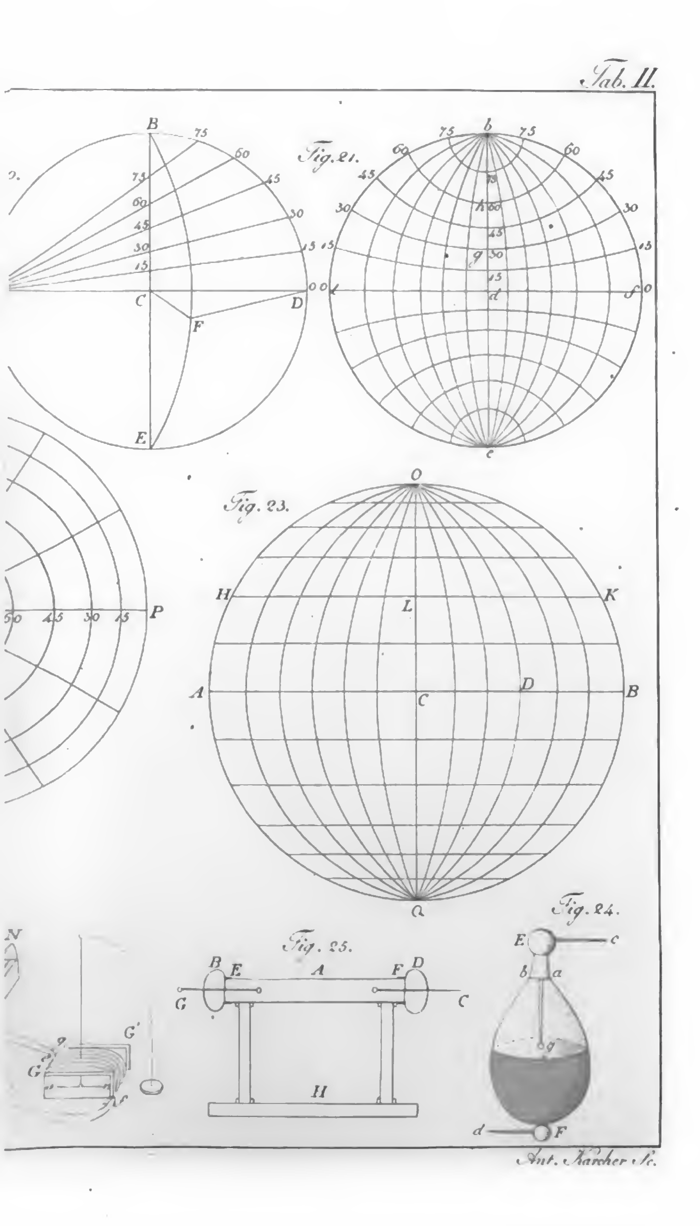

Tab. I.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 9.
Fig. 8.
Fig. 13.
Fig. 17.
Fig. 14.
Fig. 15.
Fig. 16.
Ant. Karcher Sc.





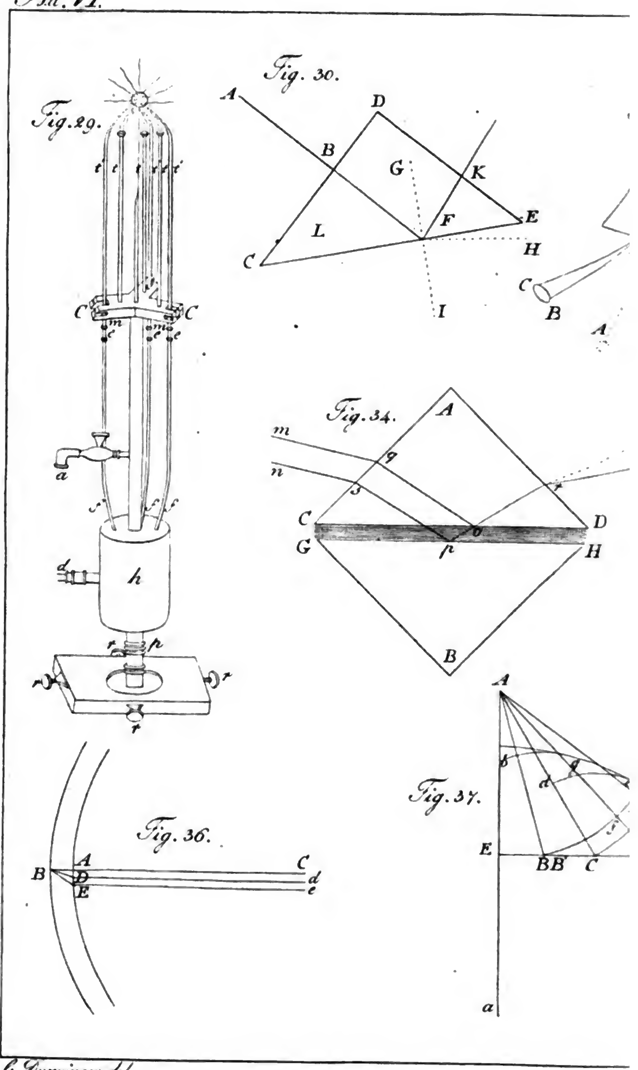
G. Dunzinger del.

Tab. II.



Ant. Karcher Sc.

Bd. VI.


Fig. 29.
Fig. 30.
Fig. 34.
Fig. 36.
Fig. 37.
A
B
C
D
E
F
G
H
I
K
L
a
h
d
G. Dunzinger del.

Tab. III.

Fig. 31.

Fig. 32.

B A 35° a b d c C

Fig. 33.

A B C d D

Fig. 35.

d f e h g i

R

a∘ b∘ c∘

α∘ β∘

Fig. 40.

a b e c d

Fig. 38.

B C b A a E D g G f F H

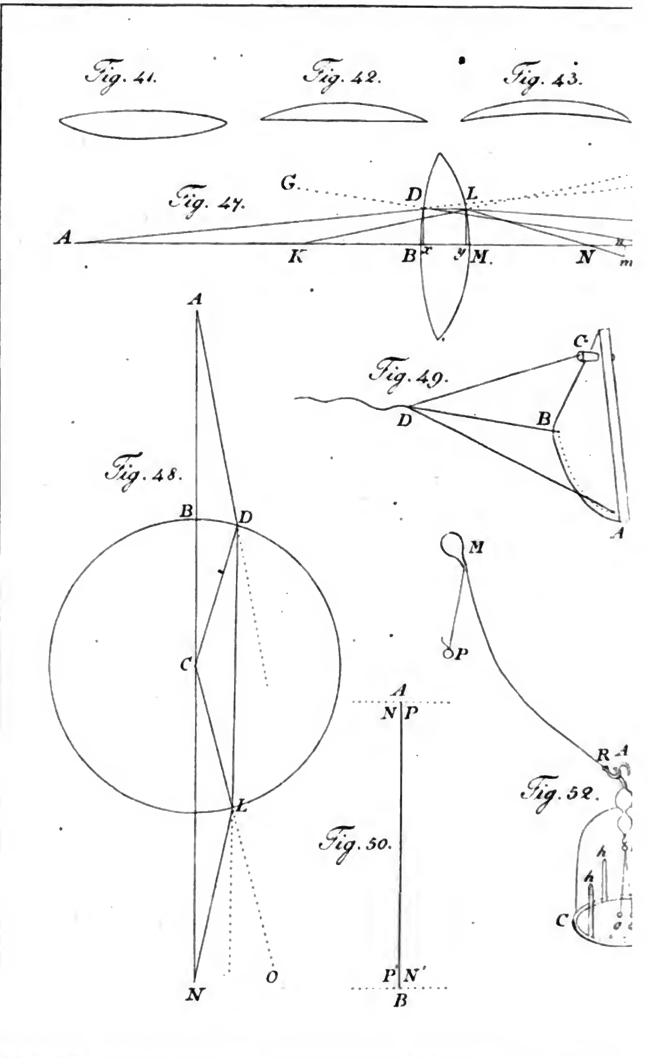
x c D D' U

Fig. 39.

R O B H E C K M I T

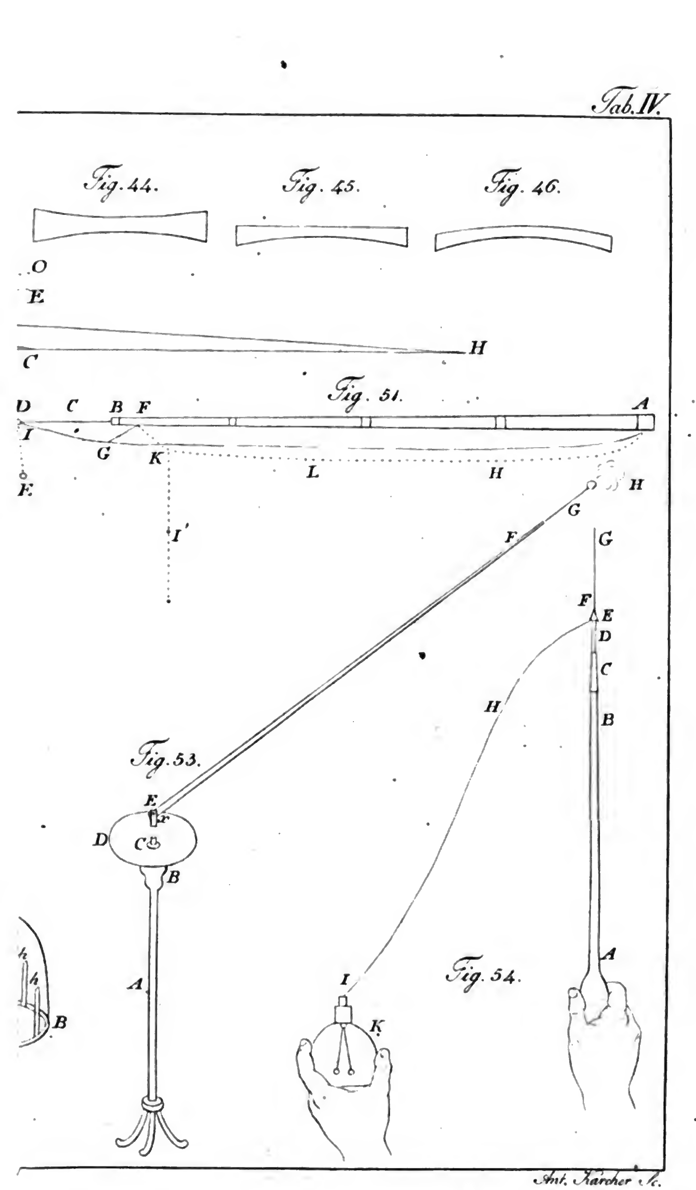
Ant. Karcher Sc.

Bd. VI.

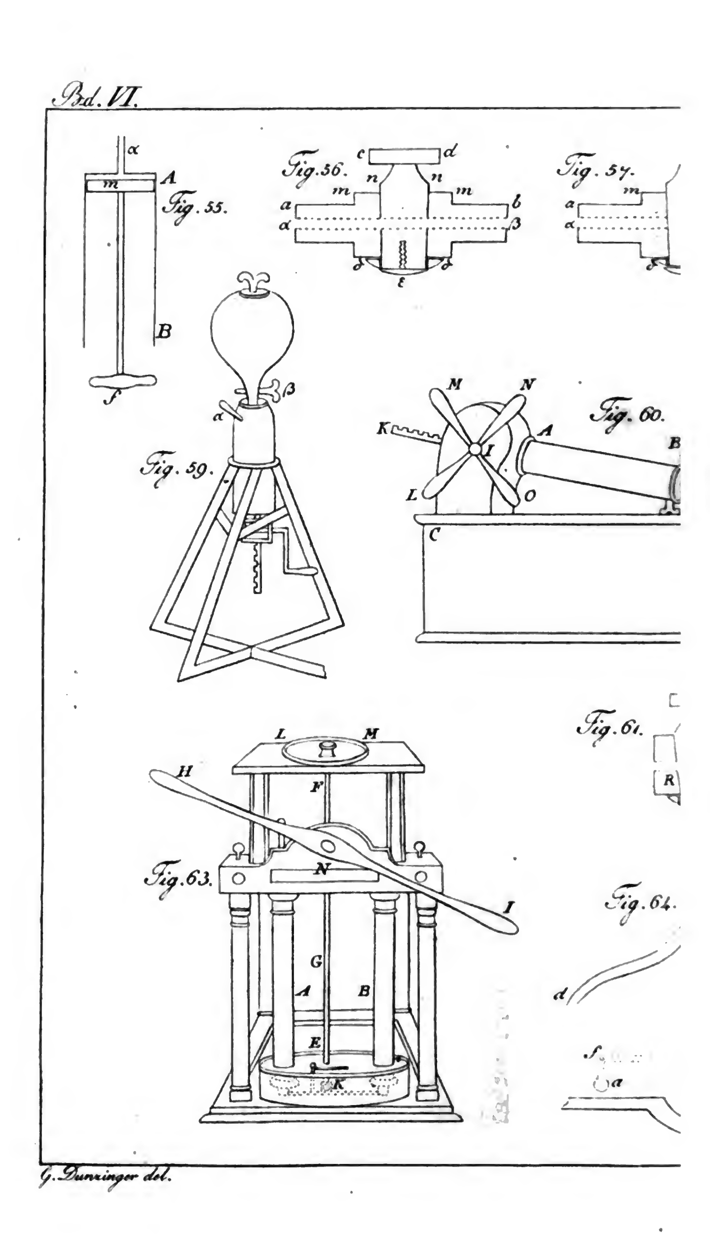


G. Dunzinger del.

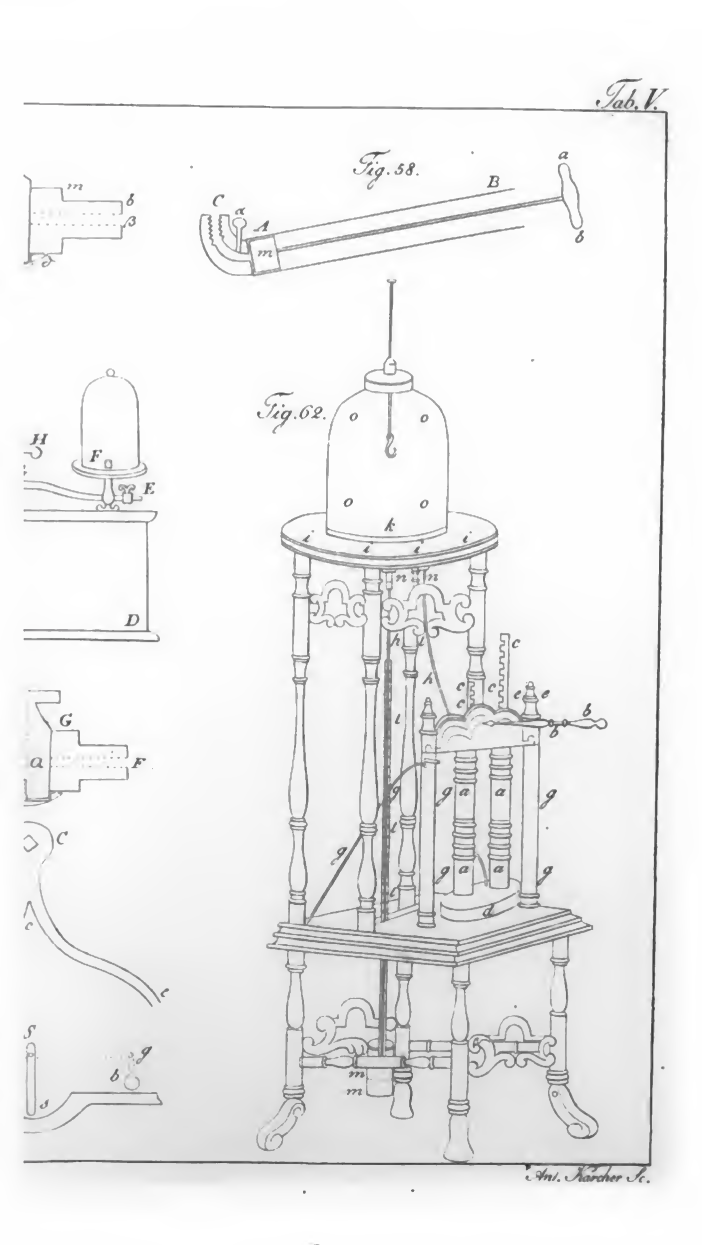
Tab. IV.



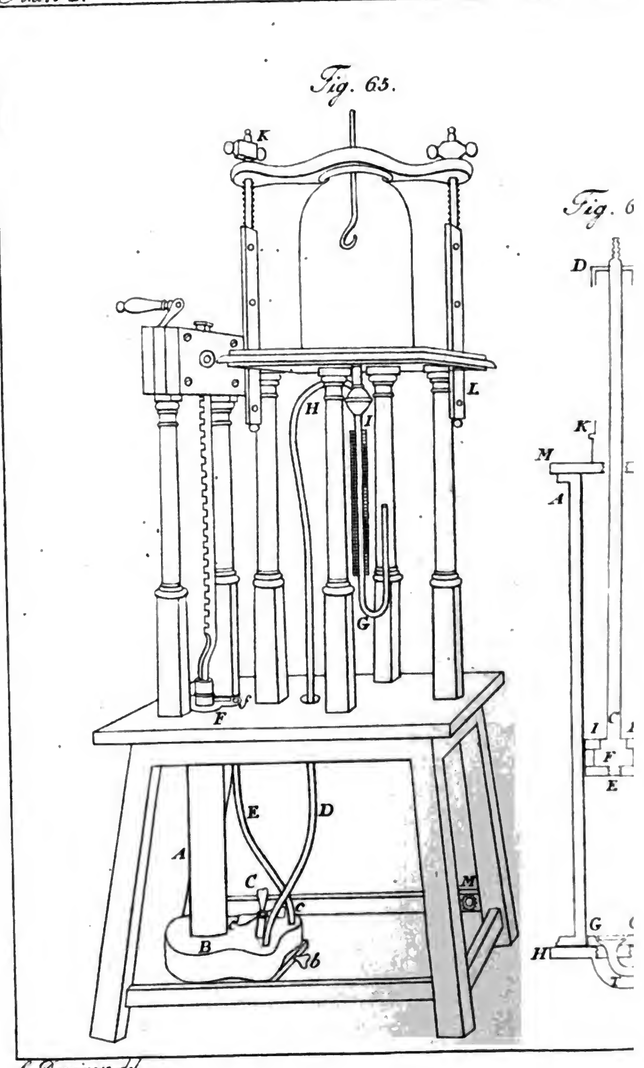
Ant. Karcher Sc.



Bd. VI.
Fig. 55.
α
A
m
B
f
Fig. 56.
c
d
n
n
m
m
a
b
α
β
δ
δ
ε
Fig. 57.
m
a
α
Fig. 59.
β
α
Fig. 60.
M
N
K
A
B
I
L
O
C
Fig. 61.
R
Fig. 63.
L
M
H
F
N
I
G
A
B
E
K
Fig. 64.
d
f
a
G. Dunzinger del.


Tab. V.
Fig. 58.
Fig. 62.
Ant. Karcher Sc.

Bd. VI.



G. Dunzinger del.



Fig. 67.

Fig. 69.

Fig. 68.

Ant. Karcher sc.

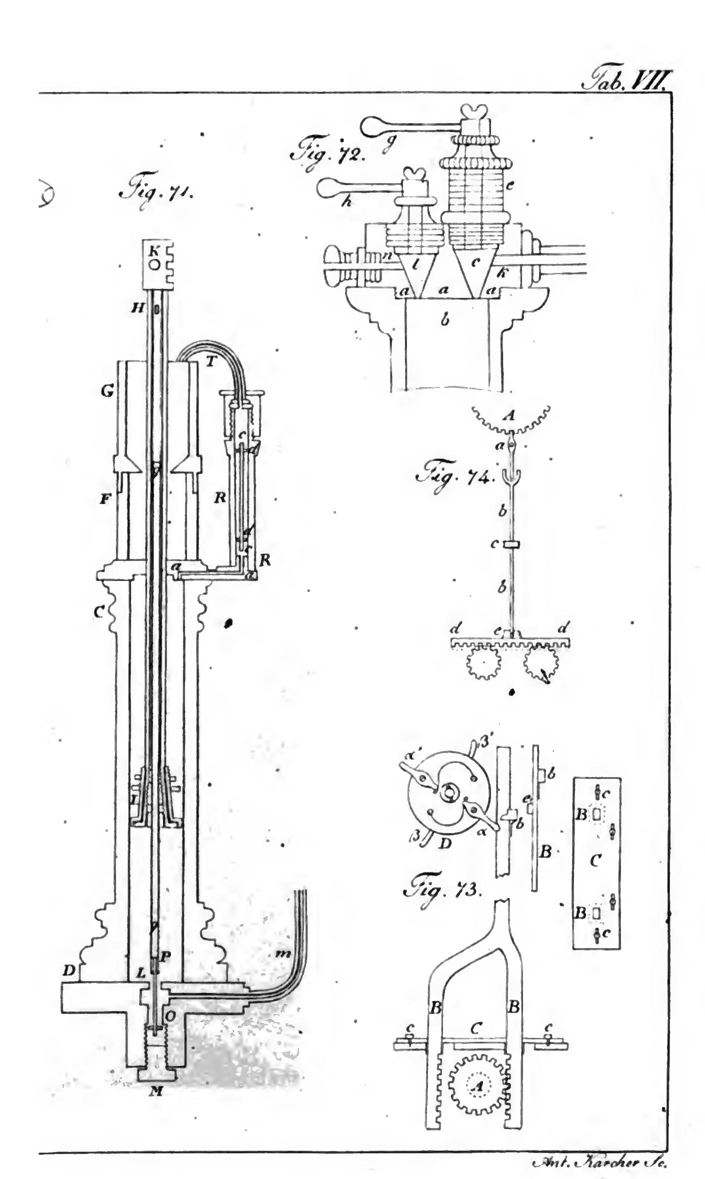


Bd. VI.

Fig. 70.

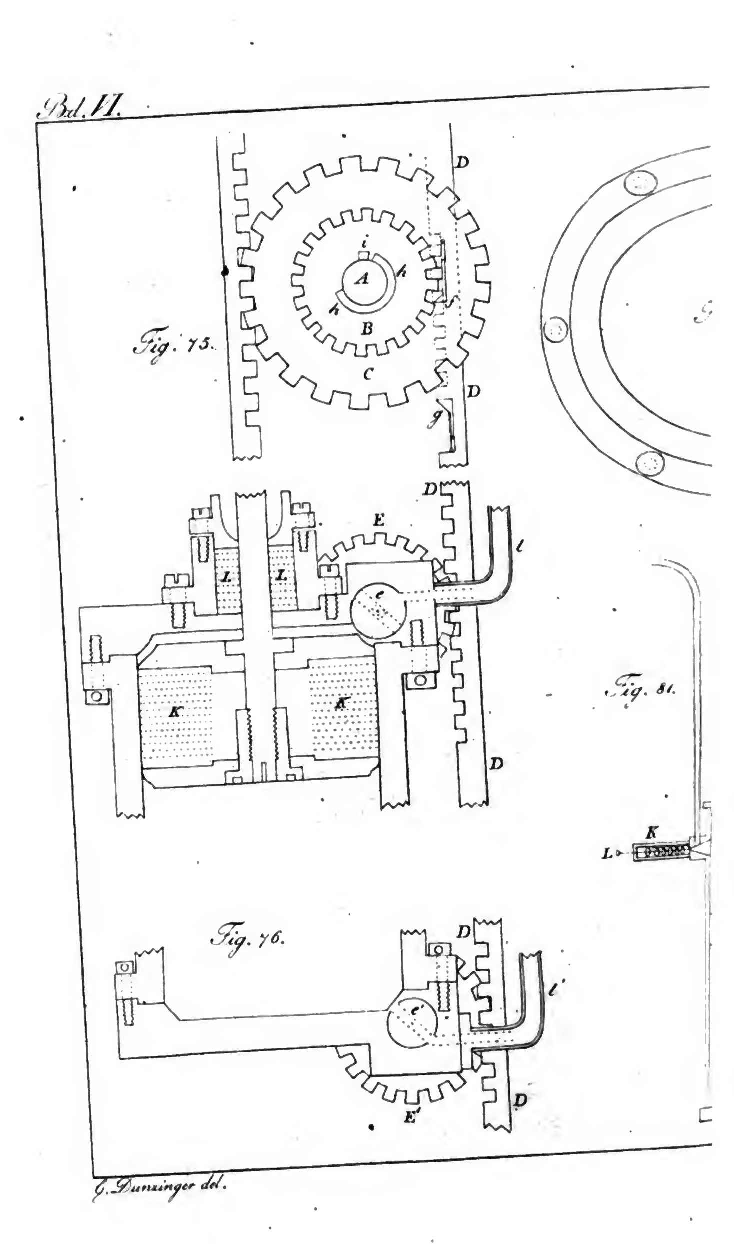
A
N
K
N
T
T
O
O
B

G. Dunzinger del.

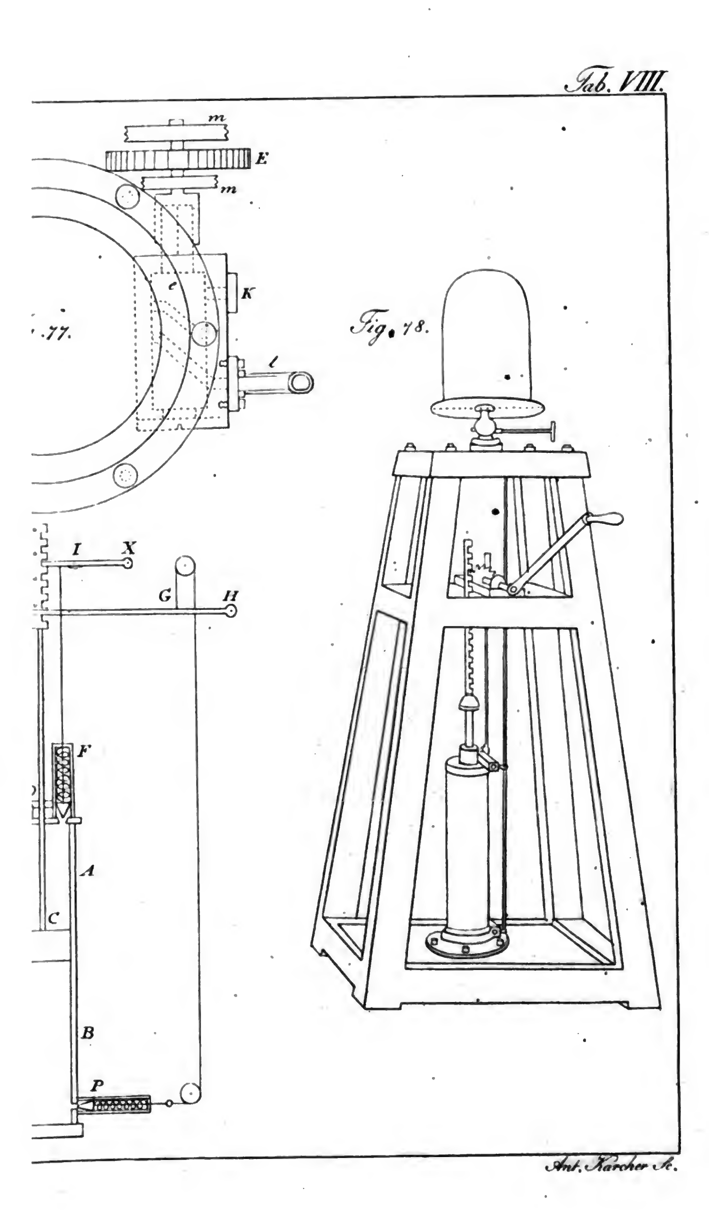


Ant. Karcher Sc.

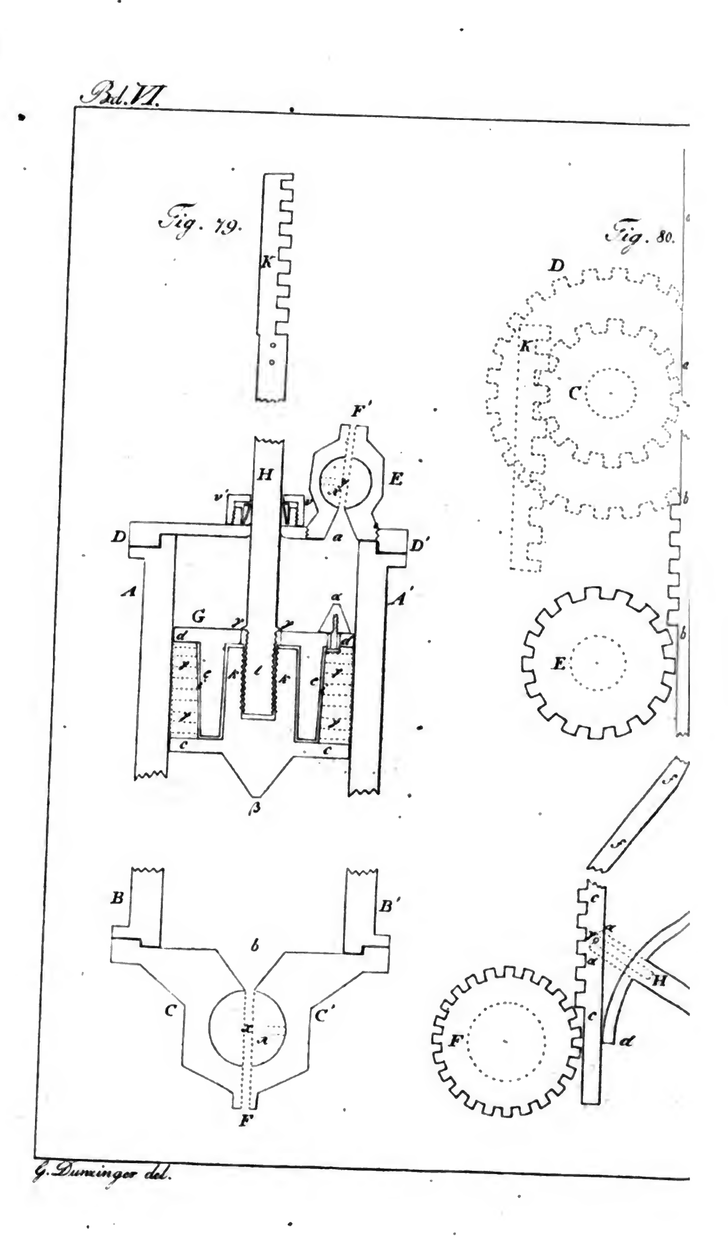
Bd. VI.



G. Dunzinger del.

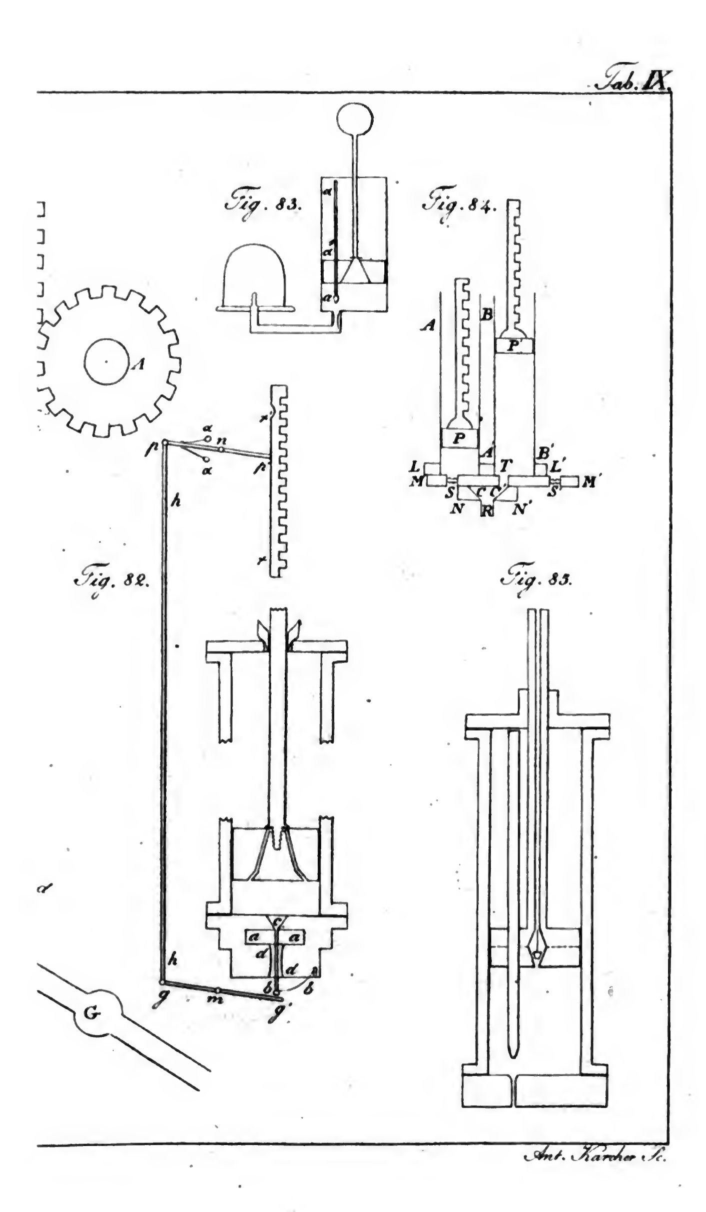


Ant. Karcher Sc.



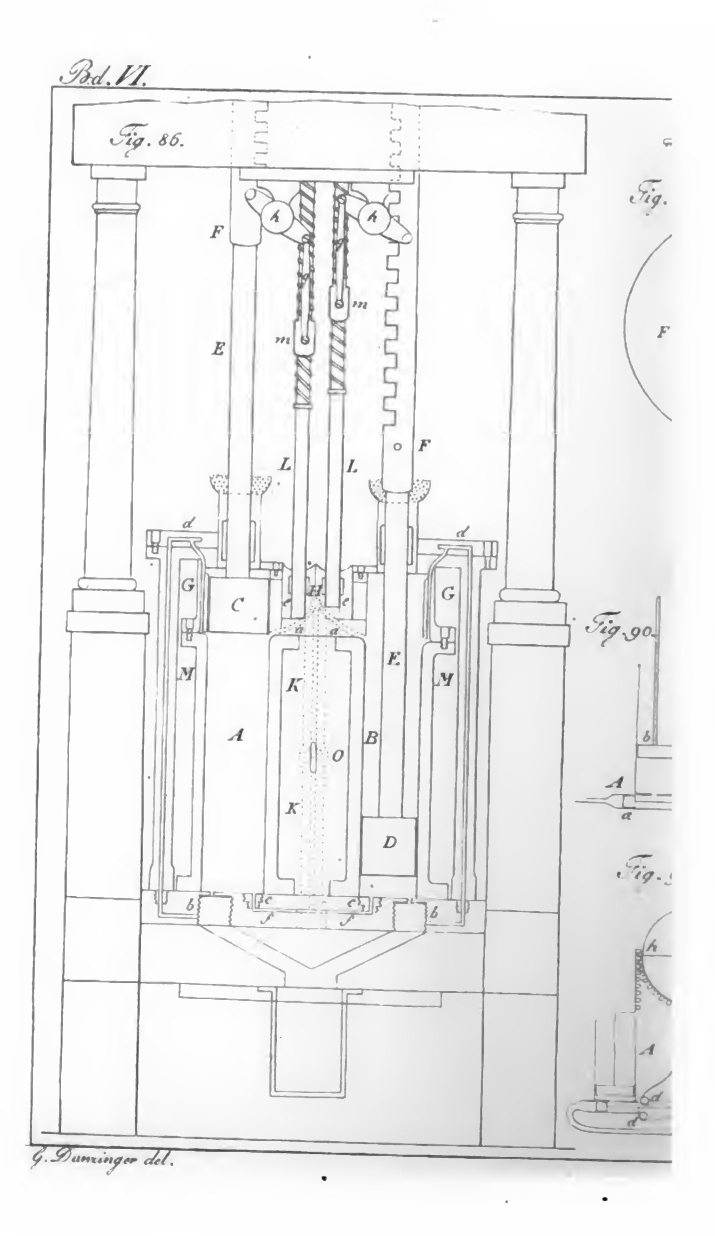
G. Dunzinger del.

Tab. IX.

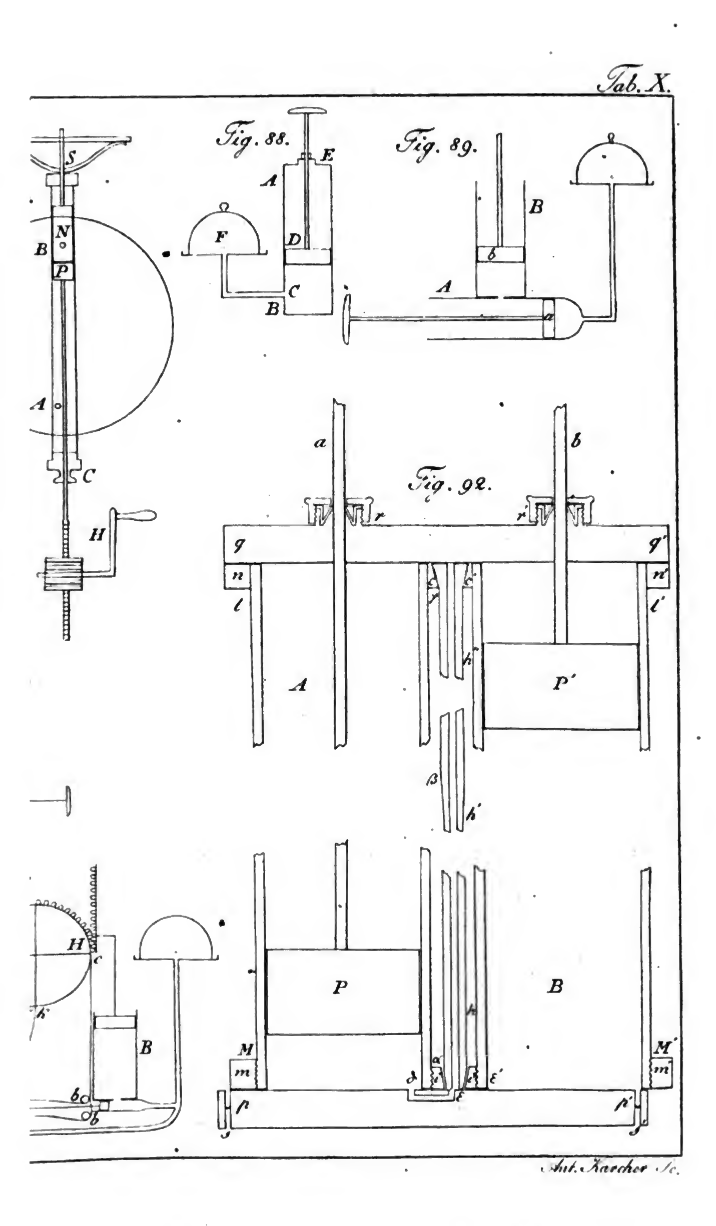


Ant. Karcher Sc.

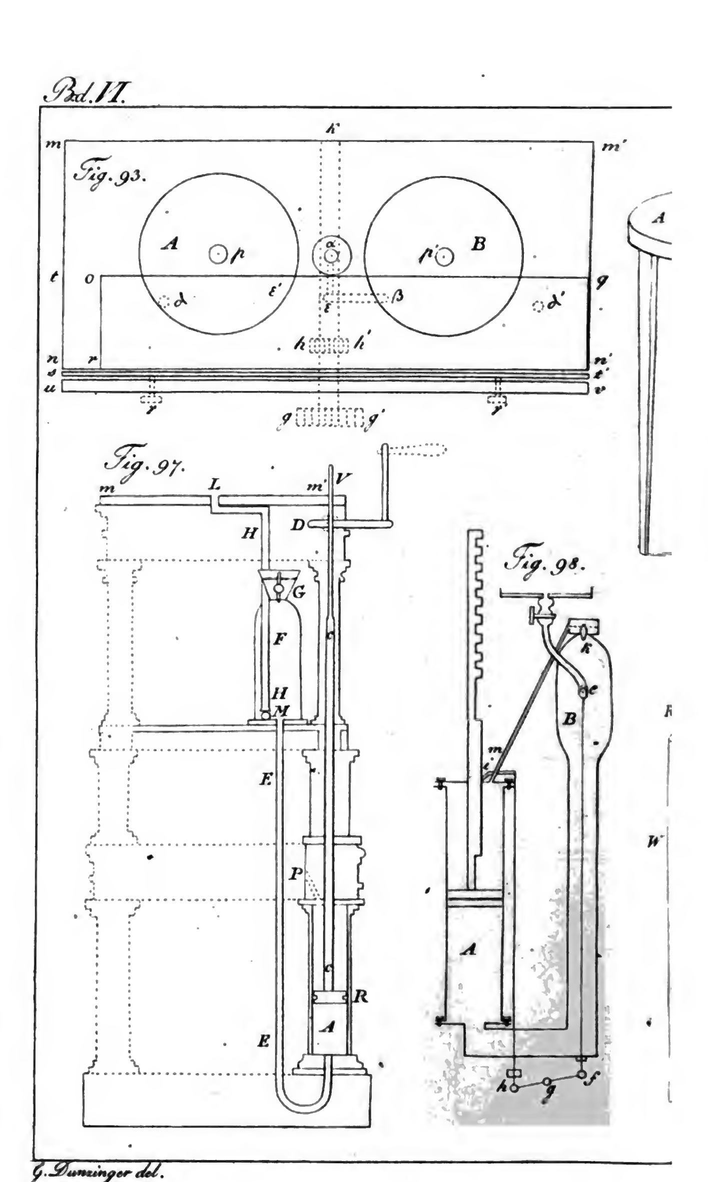



Bd. VI.
Fig. 86.
F
h
h
m
m
E
L
L
F
d
d
G
G
C
H
e
e
a
a
K
M
M
A
O
B
E
K
D
b
c
c
f
f
b
Fig.
F
Fig. 90.
b
A
a
Fig.
h
A
d
d
G. Dunzinger del.

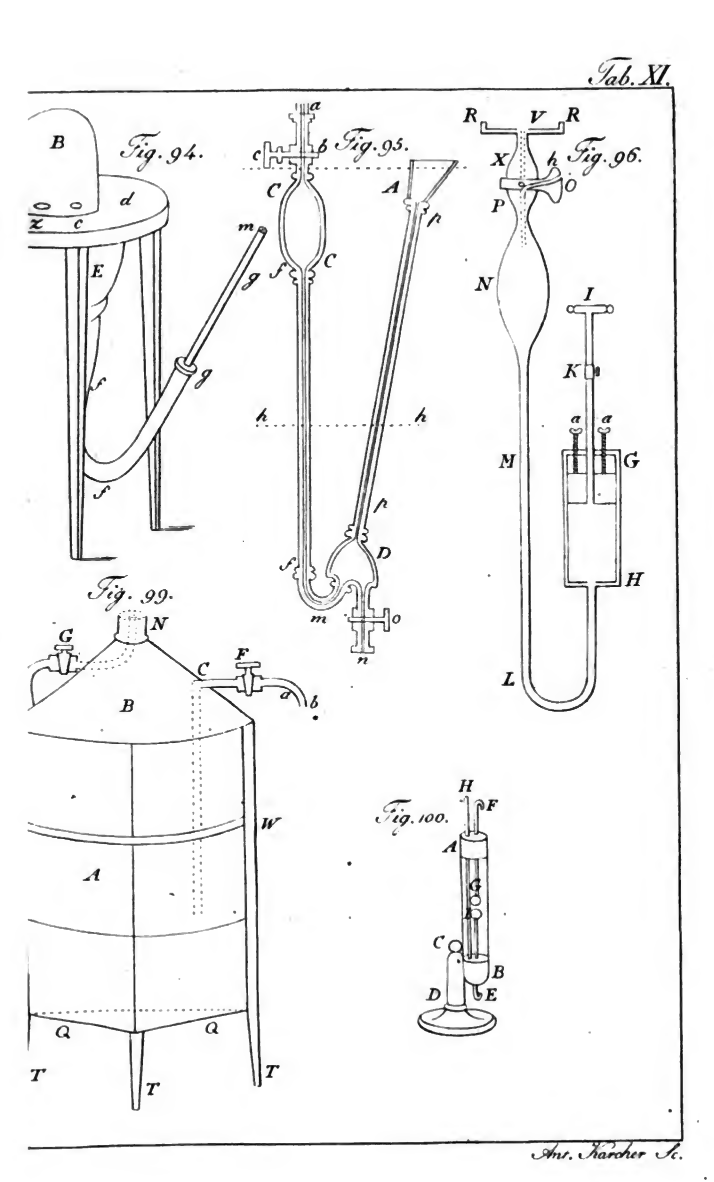
Tab. X.



Ant. Karcher Sc.



G. Dunzinger del.



Tab. XI.
Fig. 94.
Fig. 95.
Fig. 96.
Fig. 99.
Fig. 100.
Ant. Karcher Sc.


LIBERTÉ
PATRIE



